www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Jaargang 19, 1957, no. 2 blz. 37-64 Verschenen 30 april 1957

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

# ULTRASONE MATERIAALBEWERKING

## I. WERKWIJZE EN APPARATUUR

door E. A. NEPPIRAS *) en R. D. FOSKETT *).

534.321.9:621.95

*De bewerking van brosse materialen met behulp van hoogfrequente (ultrasone) mechanische trillingen is de laatste jaren van groot belang geworden. Men wekt de trillingen op met een resonerende elektromechanische energieomzetter en brengt deze trillingen door een mechanische focusseerinrichting (transformator) over op het gereedschap (boor of beitel). Het eigenlijke afnemen van materiaal geschiedt door een slijppoeder, gedispergeerd in een vloeistof.*

*De toenemende belangstelling voor deze ultrasone bewerking maakt het wenselijk de mogelijkheden hiervan nader te bepalen. Het hier verschijnende eerste deel van dit artikel behandelt de grondslagen van de techniek en beschrijft twee ultrasone boormachines die ontwikkeld zijn in de Mullard Research Laboratories. Het tweede deel, dat binnenkort zal verschijnen, behandelt de prestaties van de methode wat betreft boorsnelheid, nauwkeurigheid en oppervlaktegladheid.*

Van het gebruik van hoogfrequente elektromechanische energieomzetters voor materiaalbewerking werd het eerst melding gemaakt in een artikel van Wood en Loomis in 1927 [1]). Zij toonden aan dat door middel van een piëzo-elektrische kristalvibrator met een focusseerinrichting, bestaande uit een tapse, met water gevulde glazen buis, gaten geboord konden worden in een glazen plaat, die tegen het dunne einde van de buis werd gehouden. Eerst in de oorlogsjaren (1939-45) echter vond deze methode een nuttige toepassing: zij werd op beperkte schaal gebruikt voor het snijden en boren van edelstenen. Later zag men in dat hetzelfde principe kon worden toegepast voor andere brosse materialen, in het bijzonder metalen en gesinterde carbides, waarvan sommige zich gemakkelijk volgens deze methode lieten bewerken. In 1948 werd een octrooi bekend [2]) en verschenen enige korte artikelen en aankondigingen in Britse en Amerikaanse tijdschriften, waarin enkele praktische resultaten vermeld werden [3-7]).

Een bewerkingsmachine met een heen-en-weergaande beweging heeft het voor de hand liggende voordeel dat de in het werkstuk gemaakte holte een nauwkeurig evenbeeld is van de vorm van het gereedschap, mits het gereedschap slechts materiaaldeeltjes kan verwijderen die klein zijn in verhouding tot zijn eigen afmetingen. In de praktijk kan deze voorwaarde worden vervuld door de bewegingen van het gereedschap zodanig te beperken dat er slechts op microscopische schaal verspaning plaatsvindt. Het snijproces is dan in feite alleen een slijp- of schuurproces, en het gereedschap „snijdt" in werkelijkheid niet, doch dient uitsluitend om slijppoederdeeltjes in het werkstuk te hameren. Het gereedschap stampt aldus met behulp van het slijpmiddel zijn vorm in het werkstuk, en het is derhalve mogelijk gaten van elke gewenste vorm te verkrijgen. Doordat heen-en-weergaande machines in dit opzicht veelzijdiger zijn dan roterende, is het toepassingsgebied voor een dergelijke boormachine zeer groot: vele voorheen nimmer geprobeerde bewerkingsvormen zijn nu mogelijk. Dat men de frequentie in het ultrasone gebied kiest, b.v. 20 kHz,

*) Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.

1) R. W. Wood en A. L. Loomis, Phil. Mag. (7) **4**, 417-436, 1927.

2) Brits octrooi no. 602 801, 1948, verleend aan Industrial Research Corporation, U.S.A.

3) S. G. Kelley, Materials and Methods **34**, no. 3, sept. 1951, blz. 92-94.

4) G. H. DeGroat, American Machinist **96**, 15 sept. 1952, blz. 141-144.

5) R. G. Woold, Machinist **97**, 1601, 1953.

6) E. A. Neppiras, A high-frequency reciprocating drill, J. sci. Instr. **30**, 72-74, 1953.

7) E. A. Neppiras, Machining by high-frequency vibration techniques, Research (Londen) **8**, 29-34, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



vindt zijn reden niet alleen in de onhoorbaarheid maar ook in het verband met de boorsnelheid, zoals hieronder duidelijk zal worden.

**Grondslagen van de methode**

Bij materiaalbewerking met de met hoge frequentie oscillerende boor of beitel wordt deze in contact met het werkstuk gebracht doordat een lichte druk op de heen-en-weergaande beweging wordt gesuperponeerd. Tussen de boor en het werkstuk wordt een suspensie van een slijpmiddel gebracht. Het verwijderen van materiaal van het werkstuk is kwalitatief eenvoudig te verklaren als een verpulveren door de korrels van het slijpmiddel, die met kracht tegen het werkstuk gewreven worden door de werking van de trillende boor; bij dit proces is een daadwerkelijk contact van de slijpende deeltjes zowel met de boor als met het werkstuk noodzakelijk.

In principe zijn er twee soorten bewerkingen die goed met heen-en-weergaande machines kunnen worden uitgevoerd, nl. die waarbij het materiaal verwijderd wordt door wrijvingskrachten (zoals bij het fijnslijpen — leppen — of bij het ruimen van een bestaand gat, waarbij het slijpmiddel over het oppervlak gewreven wordt), of door percussiekrachten (zoals in het feitelijke doorboren of doorsnijden). Daar in beide gevallen het materiaal door verpulveren wordt afgenomen, kan de techniek slechts toegepast worden op betrekkelijk brosse, niet op zeer zachte of alleen maar taaie materialen. De boor daarentegen, die ook onderhevig is aan slijtage door verpulveren, maakt men het beste van een taai (niet bros) metaal, waar de korrels van het slijpmiddel kunnen inzinken zonder er stukjes uit te breken.

Het vloeibare medium waarin zich het slijpmiddel in suspensie bevindt, speelt een drieledige rol. Het werkt als koelmiddel voor boor en werkstuk, die anders spoedig zeer heet zouden worden; door capillaire werking zorgt het ervoor dat het slijpmiddel naar het werkvlak vloeit en dat het uitgeboorde materiaal kan ontsnappen; en ten slotte vormt het een goede akoestische verbinding tussen boor en slijpmiddel, waardoor de energie op doeltreffende wijze wordt overgebracht.

Het boren gaat gepaard met een heftige cavitatie van de vloeistof tussen boor en werkstuk. Men hoort de cavitatie gewoonlijk als een sissend geluid boven het geluid van het eigenlijke slijpen uit. De cavitatie treedt op in de vorm van slierten bellen, die van bepaalde punten op de boor en op het werkstuk uitgaan. Experimenten hebben waarschijnlijk gemaakt, dat de algemene turbulentie die door deze slierten bellen in de vloeistof teweeggebracht wordt, zeer ertoe bijdraagt het slijpmiddel onder de boor flink dooreen te roeren. Doordat op deze wijze het stukgemalen slijpmiddel prompt door nieuw wordt vervangen, terwijl tegelijkertijd afgeslepen materiaal uit het werkvlak wordt verwijderd, vergroot de cavitatie de boorsnelheid. Inderdaad blijkt er een sterke correlatie te bestaan tussen de boorsnelheid en de waargenomen cavitatie-intensiteit.

De cavitatieslierten bestaan in feite uit opeenhopingen van belletjes in een staat van uiterst heftige beroering. Zulke belletjes veroorzaken erosie aan het oppervlak van vaste stoffen, en een gedeelte van de slijtage van de boor is vrijwel zeker aan deze werking toe te schrijven. Het werkstuk vertoont ook vaak krassen, waarvan sommige het patroon van de cavitatieslierten blijken te volgen. Dit zijn dan kanalen die in het materiaal gesneden zijn louter en alleen door de beweging van de cavitatieslierten, die deeltjes slijpmiddel met zich meevoeren. De slierten volgen vaste banen en de stukjes slijpmiddel kunnen op deze plaatsen betrekkelijk diepe voren uitslijpen. De op deze wijze veroorzaakte verwijdering van materiaal draagt nauwelijks bij tot de eigenlijke verspaning, doch zij benadeelt natuurlijk de oppervlaktegladheid. Waar dit van belang is, moeten de krassen dan ook achteraf verwijderd worden, of men moet het ontstaan hiervan verhinderen. Dit laatste is mogelijk door te zorgen dat de boorbewerking zo vlug uitgevoerd wordt dat zich geen stabiel sliertenpatroon kan vormen.

Bij de meeste toepassingen van deze techniek is vooral de boorsnelheid van belang, verder ook de oppervlaktegladheid en de mogelijke bewerkingstoleranties. De boorsnelheid is in hoge mate afhankelijk van de gegevens van de triller zelf, zoals de trillingsamplitude en de frequentie, en van de statische kracht tussen boor en werkstuk. Alvorens een doelmatige boormachine kan worden ontworpen, dient men de samenhang tussen deze factoren te kennen.

Een aantal proefboringen in glas hebben aangetoond dat onder uiteenlopende bewerkingsomstandigheden de boorsnelheid ongeveer evenredig is met het kwadraat van de trillingsamplitude. Dit is te zien in *fig. 1*, waarin de gemiddelde indringingssnelheid is uitgezet tegen de trillingsamplitude, voor vier met verschillende frequentie trillende boren, onder overigens gelijke omstandigheden. Anderzijds hebben proeven aangetoond dat bij het eenvoudige doorboren, waarbij men het dus niet van wrijvingskrachten moet hebben (zoals bij het leppen), er in de praktijk een grens aan de bruik-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



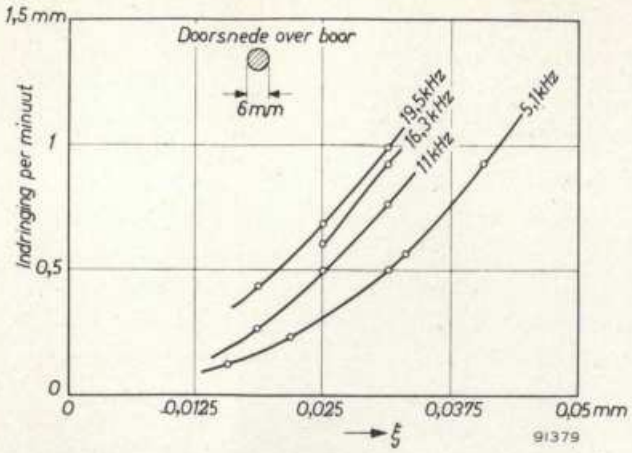



Fig. 1. Boorsnelheid als functie van de (dubbele) trillingsamplitude $\xi$ voor ondiepe boringen in glas, bij vier werkfrequenties en constante statische kracht.

bare trillingsamplitude is gesteld. Men schiet er dan nl. heel weinig mee op wanneer men de (dubbele) trillingsamplitude van de boor veel groter maakt dan de korrelgrootte van het slijpmiddel [8]). Hier komt nog bij, dat als de percussiekracht per slag vergroot wordt, ongeacht welk slijpmiddel men gebruikt, er een punt komt waar het wegspatten van het slijpmiddel het onmogelijk maakt de slijppasta onder de boor een voldoende concentratie te geven om een doeltreffende boorwerking te verkrijgen. Hoewel deze beperkingen alleen gelden voor het directe doorboren, dienen er toch bepaalde grenzen gesteld te worden aan de trillingsamplitude van de boor, wil men tot een veelzijdige gereedschapsmachine geraken, waarmee zowel doorboren als leppen en derg. goed uitvoerbaar is.

Houdt men de trillingsamplitude en de statische kracht constant, dan blijkt de boorsnelheid bij ultrasone frequenties iets minder dan evenredig met de frequentie toe te nemen. Dit betekent dat de snelheid van de boor minder belangrijk voor de boorsnelheid is dan de trillingsamplitude. De kromme in *fig. 2* is representatief voor de meetresultaten.

De boorsnelheid hangt sterk af van de statische kracht tussen boor en werkstuk, van de oppervlakte van de boor (het werkvlak), alsmede van de grootte en de aard der deeltjes van het slijpmiddel [9]). Hierover komen wij in het tweede deel van dit artikel nader te spreken. Voorlopig interesseren deze factoren ons slechts voor zoverre zij ons iets vertellen over de vereisten voor de triller. Deze bestaat essentieel uit twee delen, nl. een elektromechanische omzetter en een mechanische transformator.

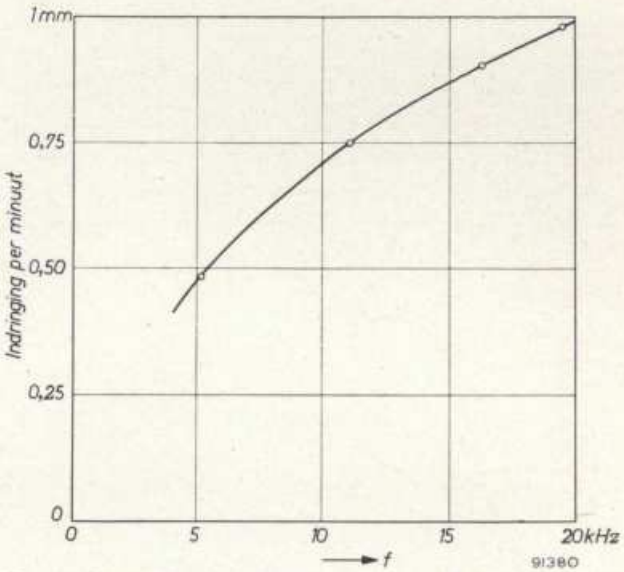



Fig. 2. Boorsnelheid als functie van de werkfrequentie $f$ bij een dubbele amplitude van 0,03 mm en constante statische kracht.

## De elektromechanische omzetter

Het ziet ernaar uit dat voor de hier besproken toepassing de piëzomagnetische [10]) omzetter het meest geschikt is [11]). Wat betreft het vermogensrendement, is een relatief lage frequentie voordelig, doch we hebben al gezien dat er ook kennelijke voordelen verbonden zijn aan een frequentie in het ultrasone gebied, b.v. 20 kHz, zowel met het oog op de onhoorbaarheid als voor de boorsnelheid; voor de omzetter komt daar nog het voordeel bij dat men de grootte van het geheel binnen redelijke grenzen kan houden. Nu is het bekend dat bij lage ultrasone frequenties de piëzomagnetische triller zich het gemakkelijkst van alle soorten elektromechanische omzetters voor een efficiënte energieomzetting leent. Bovendien moeten de omzetters voor de beoogde toepassingen een langdurig gebruik

[8]) Een recent artikel van D. Goetze (J. Acoust. Soc. Amer. **28**, 1033-1037, 1956 (no. 6)) over boorsnelheden in gereedschapsstaal toont aan dat de boorsnelheid ongeveer lineair met de amplitude toeneemt. Deze resultaten hebben echter betrekking op dubbele amplitudes tot 0,1 mm, hetgeen ongeveer twee maal zo groot is als de korrelgrootte van het gebruikte slijpmiddel. Zie ook deel II van dit artikel.

[9]) Zie A. Nomoto, J. Acoust. Soc. Amer. **26**, 1081-1082, 1954, en ook deel II van dit artikel.

[10]) De term piëzomagnetisme omvat alle omkeerbare, vrijwel lineaire magnetomechanische verschijnselen in gepolariseerd ferromagnetisch materiaal, ter onderscheiding van de niet-omkeerbare, ongeveer kwadratische verschijnselen in niet-gepolariseerde ferromagnetica. De term magnetostrictie wordt in algemene zin gebruikt en omvat beide verschijnselen. Zie b.v. G. Bradfield, Acustica **4**, 171-181, 1954, en het artikel waarnaar in noot [12]) verwezen wordt.

[11]) Voor nadere bijzonderheden betreffende ultrasone omzetters en ultrasone technieken in het algemeen, zie b.v. T. F. Hueter en R. H. Bolt, Sonics, Wiley & Sons, New York 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



onder normale werkplaatsomstandigheden kunnen verdragen: piëzomagnetische omzetters van metaal zijn uiterst sterk en zullen door een ruwe behandeling of door de vrij hoge temperaturen, waaraan ze in de praktijk kunnen zijn blootgesteld, niet licht beschadigd worden. Onder bepaalde condities (mechanische voorspanning) zijn sommige nieuw ontwikkelde piëzomagnetische keramische materialen van geringe porositeit [12]) (b.v. nikkel-kobaltferrieten) en piëzo-elektrische keramische materialen [13]) (b.v. loodtitanaat-zirconaten), hoewel zij iets minder sterk zijn, ook heel goed te gebruiken. Andere typen elektromechanische omzetters echter, zoals piëzo-elektrische kristallen, zijn te broos en te zeer afhankelijk van de temperatuur.

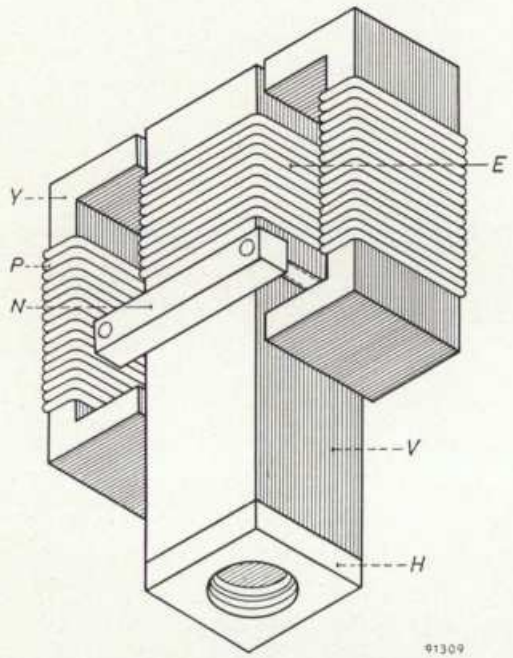



Fig. 3. Voornaamste onderdelen van de staaftriller, zoals die wordt gebruikt voor ultrasone boormachines van klein vermogen. *Y* gelamelleerd juk, *P* voormagnetisatiewikkeling, *N* klem ter plaatse van een knoop, *E* wisselstroomwikkeling, *V* gelamelleerd piëzomagnetisch trillichaam, *H* houder met inwendige schroefdraad voor het inzetten van een mechanische transformator. De lengte van de staaf *V* bedraagt een halve golflengte.

Voor de energieomzetting in ons geval behoeven wij alleen longitudinaal trillende piëzomagnetische resonatoren te beschouwen. De meest economische vorm hiervoor is een gelamelleerde staaf, die tot resonantie gebracht wordt met behulp van een wikkeling waar men een stroom van de juiste frequentie door stuurt. De staaf wordt door een geschikt polariserend veld voorgemagnetiseerd, nl. tot het punt waarbij de magnetomechanische koppeling in het materiaal van de omzetter maximaal wordt. Dit is voor de meeste piëzomagnetische materialen het geval bij een inductie die ongeveer 2/3 bedraagt van de verzadigingswaarde. Om deze inductie te bereiken en ook om de wisselflux een weg te verschaffen, is het gewoonlijk gewenst het circuit te sluiten door een gelamelleerd juk van een materiaal met geringe verliezen en grote permeabiliteit. In *fig. 3* is een omzetter van dit type afgebeeld.

De toevoeging van het gelamelleerde juk complicéert het mechanische ontwerp van staaftrillers en leidt tot moeilijkheden wanneer deze bij een zodanig vermogen moeten werken dat waterkoeling noodzakelijk is. In dergelijke gevallen vindt men een eenvoudiger oplossing in de raamtriller, een constructie, die, al is het rendement minder hoog, toch veel voor ultrasone frequenties gebruikt wordt. De raamtriller bestaat in principe uit twee gelamelleerde en aan de einden verbonden staven. Het gelamelleerde lichaam draagt één enkele toroïdale spoel, waardoor zowel de polariserende gelijkstroom als de wisselstroom vloeit. Een typische omzetter van het raamtrillertype ziet men afgebeeld op de foto in *fig. 4* (zie ook fig. 9). Deze omzetters zijn, bij een zelfde bekrachtiging, niet in staat om zulke grote trillingsintensiteiten op te wekken als staaftrillers [14]). Niettemin worden zij wegens hun eenvoudige constructie en gemakkelijke koeling voor grotere ultrasone machines in het algemeen verkozen boven staaftrillers.

Fig. 4. Omzetter, transformator en boor van een ultrasone boormachine van groot vermogen (ingangsvermogen 2 kW, frequentie ca. 20 kHz). Met de zwarte klemring wordt de $\lambda/2$-transformator, die de boor draagt, op het conische koppelstuk bevestigd.

[12]) U. Enz, Die Erzeugung von Ultraschall mit Ferriten, Techn. Mitt. P.T.T. **33**, 209-212, 1955.
C. M. van der Burgt, Ferroxcubemateriaal voor piëzomagnetische trillers, Philips techn. T. **18**, 285-298, 1956 (no. 10).

[13]) W. P. Mason, J. Acoust. Soc. Amer. **28**, 1207-1218, 1956 (no. 6).

[14]) H. H. Rust en E. Bailitis, Kritische Betrachtungen über die linearmagnetostriktive Ultraschall-Erzeugung mittels tonpilzartiger Schwinggebilde, Akust. Beihefte, 1952, no. 2, blz. 89-90.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



De reeds eerder vermelde praktische grens voor de bruikbare trillingsamplitude voor bewerkingsdoeleinden ligt zo hoog dat men deze met de trillingen aan het uiteinde van een vrije omzetter niet eens kan bereiken. De amplitudes daarvan zijn nl. beperkt door de verzadiging en door het gevaar van vermoeidheidsbreuk van de omzetter door de sterk wisselende mechanische spanningen die in het piëzomagnetische materiaal optreden. Het is echter mogelijk de amplitude van de boor te vergroten door de trillingsenergie daarop over te brengen via een mechanische focusseerinrichting (mechanische transformator, Engels „velocity transformer"). Op deze wijze kunnen zeer grote boorsnelheden gerealiseerd worden.

**De mechanische transformator**

Het systeem omzetter-transformator-boor, waarop de ultrasone boormachine berust, is in wezen een resonerende mechanische transmissielijn ter lengte van twee of meer halve golflengten. De mechanische transformator zelf bestaat over het algemeen uit een taps metalen lichaam met een voldoend grote vermoeidheidssterkte en een hoge mechanische kwaliteitsfactor. Dit lichaam is star verbonden met het uiteinde van de omzetter. De transformatorlichamen die in ultrasone bewerkingsmachines worden gebruikt, ontwerpt men over het algemeen zo dat zij bij de frequentie van de omzetter in resonantie zijn. Dit vergemakkelijkt niet alleen de berekening doch maakt het ook mogelijk transformatoren te verwisselen zonder dat de ligging van de buik- en knoopvlakken in het systeem verandert, zodat men de frequentie ook niet daarbij behoeft aan te passen. Dit is van belang, gezien het feit dat het systeem volkomen stijf in zijn ophanging vastgeklemd moet worden: dit dient te geschieden ter plaatse van een knoop, daar anders een veel te grote demping zou optreden. Het is dus zaak dat dit knoopvlak op dezelfde plaats blijft, ongeacht de keuze (en belasting) van de mechanische transformator.

De resonantielengte van taps toelopende metalen lichamen verschilt van die van cilindrische lichamen; hij hangt af van de mate van tapsheid en derhalve van de gewenste transformatieverhouding. De berekeningen worden eenvoudig wanneer de doorsnede van het lichaam een exponentiële functie van de lengte is. In de praktijk kiest men dan ook dikwijls een dergelijk verloop, en het ontwerp van transformatoren van deze vorm heeft men vrij ver in details uitgewerkt (zie hieronder en onder [6]). De vergroting van de trillingsamplitude $\xi$ die men verkrijgt, is voor elke mate van tapsheid precies gelijk aan de wortel uit de reciproke verhouding der eindoppervlakten, mits de maximale dwarsafmeting van het transformatorlichaam klein is ten opzichte van de golflengte. Met andere woorden, in elk geleidelijk taps toelopend (verliesvrij) lichaam waarvan de lengte een willekeurig aantal halve golflengten bedraagt, is het produkt doorsnede maal $\xi^2$ voor alle buikvlakken constant, en de transformator levert een toeneming in trillingsintensiteit uitsluitend ten koste van een verkleining van het nuttige werkvlak.

De vergelijking voor de beweging van een afgestemd lichaam met veranderlijke doorsnede is analoog aan die voor een akoestische transformator (of akoestische hoorn). De algemene vergelijking voor de snelheidspotentiaal $\Phi$ langs de as van zulk een hoorn (afstand $x$, tijd $t$) luidt:

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial\Phi}{\partial x}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\ln A, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

waarin $c$ de snelheid van het geluid in het medium voorstelt en $A$ de oppervlakte van de doorsnede bij $x$. Nemen we als eenvoudigste oplossing een enkelvoudige harmonische trilling, dan kunnen we schrijven $\partial^2\Phi/\partial t^2 = -\omega^2\Phi$, waarin $\omega$ de hoekfrequentie voorstelt. Door substitutie in vergelijking (1) wordt de tijdvariabele geëlimineerd en verkrijgt men:

$$\frac{\mathrm{d}^2\Phi}{\mathrm{d}x^2} + \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}x}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\ln A + \frac{\omega^2}{c^2}\Phi = 0.$$

Deze vergelijking geldt voor elke hoornvorm, mits de grootste hoorndiameter klein is ten opzichte van de golflengte van de trilling en mits de mate van tapsheid een zekere waarde niet overschrijdt. Voor het bijzondere geval van een exponentiële vorm is de oplossing eenvoudig. Stellen we $A = A_0 \exp(-\gamma x)$, waarbij $A_0$ de oppervlakte van het dikke einde van het transformatorlichaam is, terwijl $\gamma$ de mate van tapsheid van de transformator bepaalt, dan wordt:

$$\frac{\mathrm{d}^2\Phi}{\mathrm{d}x^2} - \gamma\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}x} + \frac{\omega^2}{c^2}\Phi = 0,$$

ofwel, daar de deeltjessnelheid (lokale snelheid der volumeelementjes) $v = -\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}x$ is:

$$\frac{\mathrm{d}^2v}{\mathrm{d}x^2} - \gamma\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x} + \frac{\omega^2}{c^2}v = 0.$$

De algemene oplossing hiervan kan worden geschreven als:

$$v = (K_1\cos\omega x/c' + K_2\sin\omega x/c')\exp(\gamma x/2), \quad . \quad (2)$$

waarin

$$c' = c/(1-\gamma^2c^2/4\omega^2)^{\frac{1}{2}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Door de tapse vorm neemt dus de effectieve snelheid van de geluidsgolven in het materiaal toe, en wel met een factor $1/(1-\gamma^2c^2/4\omega^2)^{\frac{1}{2}}$.

Men ziet dat de snelheid alleen dan een reële waarde krijgt indien $\gamma$ kleiner is dan $2\omega/c$; dit is de bovenvermelde kritische waarde, voor een exponentiële vorm. Indien de tapsheid groter wordt dan overeenkomt met deze waarde, heeft men geen voortplanting van energie meer; de hoorn werkt als een filter, waarvan de afsnijfrequentie door de genoemde voorwaarde ($\omega = \gamma c/2$) bepaald wordt. Als gevolg van de vergroting van de effectieve geluidssnelheid is de lengte waarbij de grondtrilling van een tapse transformator van deze vorm de gegeven frequentie heeft, groter dan die van een staaf van uniforme doorsnede. Deze lengte is bepaald door $l = c'\pi/\omega = \lambda'/2$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



De constanten $K_1$ en $K_2$ in vergelijking (2) worden bepaald door de randvoorwaarden. Beschouwen wij de grondtrilling, dan is $v = v_0$ voor $x = 0$, waarbij $v_0$ de snelheid aan het uiteinde van de omzetter is, terwijl aan het vrije uiteinde, waar $x = l = c'\pi/\omega$, de spanning en de rek nul worden. Uit deze voorwaarden volgt:

$$K_1 = v_0 \quad \text{en} \quad K_2 = -\gamma c' v_0/2\omega,$$

zodat

$$v = v_0 \left[\cos \omega x/c' - (\gamma c'/2\omega) \sin \omega x/c'\right] \exp (\gamma x/2). \quad . \quad (4)$$

Voor een $\lambda/2$-transformator vindt men ter plaatse $x = l$ de deeltjessnelheid $v_l = -v_0 \exp (\gamma l/2)$, zodat

$$-v_l/v_0 = (A_0/A_l)^{\frac{1}{2}} = \exp (\gamma l/2) = a.$$

Hierin is $A_l$ de doorsnede van de transformator bij $x = l$. We zien dus dat in een $\lambda/2$-transformator de deeltjessnelheid en derhalve de amplitude aan het nauwe einde staat tot die aan het dikke einde omgekeerd als de wortel uit de verhouding der beide doorsneden.

De zojuist gedefinieerde grootheid $a$, de verhouding der snelheden aan het dunne en het dikke einde, speelt in het ontwerp van de transformator een belangrijke rol. De effectieve snelheid van de geluidsgolven b.v. kan men gemakkelijk in $a$ uitdrukken. Daar $\gamma = (2/l) \ln a$ en $c' = \omega l/\pi$, kan men vergelijking (3) herleiden tot:

$$\frac{c'}{c} = \sqrt{1 + \left(\frac{\ln a}{\pi}\right)^2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

De afstand $x_n$ van het dikke uiteinde tot de verplaatsingsknoop kan eveneens in $a$ worden uitgedrukt. Volgens (4) wordt de deeltjessnelheid nul op het punt $x_n$ dat bepaald wordt door

$$\operatorname{cotg} \frac{\omega x_n}{c'} = \frac{\gamma c'}{2\omega} = \frac{\ln a}{\pi}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Aangezien dit positief is, moet $x_n < \lambda'/4$ zijn.

Het vlak met maximale deeltjessnelheid vindt men door (4) te differentiëren naar $x$ en het differentiaalquotiënt nul te stellen:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = v_0 \frac{\gamma}{2} \exp \frac{\gamma x}{2} \left[-\left(\frac{\gamma c'}{2\omega} + \frac{2\omega}{\gamma c'}\right) \sin \frac{\omega x}{c'}\right]. \quad . \quad . \quad (7)$$

Dit wordt nul bij $x = 0$ en $x = \lambda'/2 = l$. De vlakken met maximale deeltjessnelheid liggen dus aan de uiteinden.

De rek $\varepsilon(x)$ in de exponentiële transformator is evenredig met (7), aangezien $\varepsilon = \partial\xi/\partial x$, wat evenredig is met $\partial v/\partial x$. Voor de spanningsverdeling $\sigma(x)$ volgt hieruit:

$$\sigma(x) = E\varepsilon(x) = E\frac{\partial \xi}{\partial x} = K v_0 \exp \frac{\gamma x}{2} \sin \frac{\omega x}{c'}, \quad . \quad . \quad (8)$$

waarbij in de constante $K$ de grootheden $\gamma$, $c'$, $\omega$ en de elasticiteitsmodulus $E$ voorkomen. Differentiëren naar $x$ en gelijkstellen van het differentiaalquotiënt aan nul levert:

$$\frac{\partial \sigma(x)}{\partial x} = K v_0 \frac{\omega}{c'} \left(\frac{\gamma c'}{2\omega} \sin \frac{\omega x}{c'} + \cos \frac{\omega x}{c'}\right) \exp \frac{\gamma x}{2} = 0,$$

of, aangezien $\gamma c'/2\omega = (\ln a)/\pi$:

$$\operatorname{cotg} \frac{\omega x_\sigma}{c'} = -\frac{\ln a}{\pi}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Hieruit berekent men de plaats $x_\sigma$ van maximale spanning in het exponentiële lichaam. Uit het feit dat cotg $\omega x_\sigma/c'$ een negatieve waarde heeft, volgt dat $x_\sigma > \lambda'/4$, en door (9) met (6) te vergelijken, ziet men dat $x_\sigma$ en $x_n$ symmetrisch ten opzichte van het midden van het transformatorlichaam liggen (zie fig. 5).

De vereiste boor kan door hardsolderen of met een schroefverbinding aan het einde van de transformator bevestigd worden; de afmetingen van deze laatste kiest men meestal zo dat de doorsnede aan het vrije uiteinde ongeveer overeenkomt met die van de boor. Het is daarom gewenst een aantal aanpassingstransformatoren met verschillende transformatieverhoudingen en dus verschillende einddiameters beschikbaar te hebben, ten einde met een grote verscheidenheid van boorgrootten te kunnen werken. Een aantal karakteristieke transformatorstukken met de daaraan bevestigde boren ziet men afgebeeld in *fig. 5*.

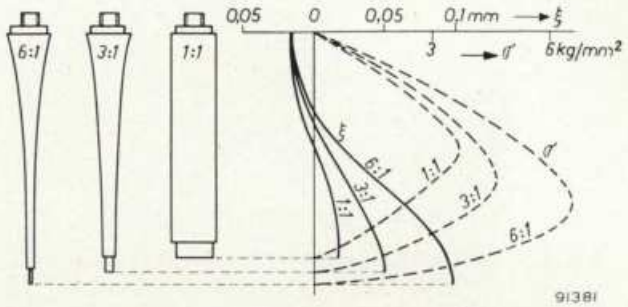



Fig. 5. Verschillende $\lambda/2$-transformatoren met daaraan bevestigde boren. Rechts is de hierin optredende verdeling van de gemeten amplitudes $\xi$ en materiaalspanningen $\sigma$ getekend.

Men kan het rendement aanzienlijk verbeteren en het produkt $A\xi^2$ aan het werkvlak sterk vergroten door het gebruik van in cascade aangebrachte transformatoren, die ter plaatse van de (verplaatsings)buiken met een discontinuïteit in doorsnede op elkaar aansluiten (*fig. 6*). Hierdoor wordt de verdeling van de trillingsenergie in het gehele systeem zodanig veranderd dat een groter deel van de totale energie wordt opgehoopt in de onderdelen

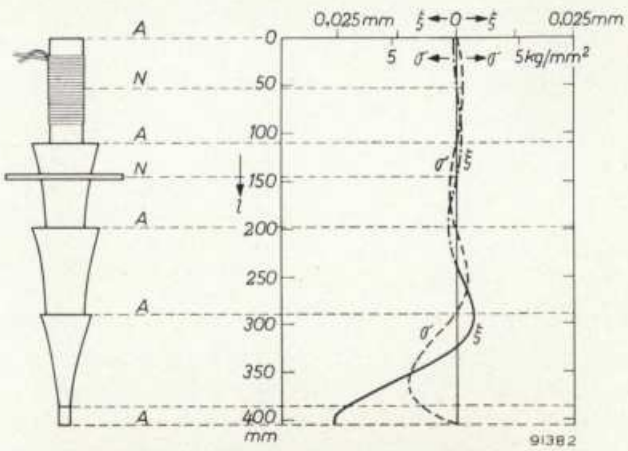



Fig. 6. Triller met trapvormige mechanische transformator; de discontinuïteiten bevinden zich ter plaatse van de trillingsbuiken. De verdeling van de gemeten amplitudes $\xi$ en de materiaalspanningen $\sigma$ is hier eveneens weergegeven. $N$ en $A$ zijn resp. verplaatsingsknopen en -buiken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



die de kleinste verliezen opleveren, nl. in de mechanische transformator(en). Voor een hoog rendement van een dergelijk trapvormig systeem is het van belang dat de transformatorlichamen onder alle in de praktijk voorkomende belastingen zo veel mogelijk in resonantie blijven, zodat de overdracht van materiaalspanningen via de discontinuïteit in de doorsnede gering is. De mechanische kwaliteit $Q$ van het onbelaste systeem wordt vergroot en de magnetomechanische koppelingscoëfficiënt $\bar{k}$ [15]) wordt verminderd, zodanig dat het produkt $|\bar{k}|^2Q$ ongeveer constant blijft. Dank zij het feit dat dit produkt onder zeer uiteenlopende omstandigheden vrijwel niet verandert, is het een zeer bruikbare parameter om bij een ontwerp van uit te gaan. Gebruikt men resonerende aanpassingslichamen, dan is het produkt $A\xi^2$ aan het uiteinde van de omzetter bij gelijkblijvende bekrachtiging evenredig met $(|\bar{k}|^2Q)^2$, mits de transformatorlichamen geen verliezen veroorzaken. Indien dit laatste wèl het geval is, neemt het produkt met toenemende massa van de koppelstukken af, daar het nagenoeg omgekeerd evenredig is met de totale mechanische demping van het systeem. In de praktijk is er daarom natuurlijk een grens aan de bij nullast bereikbare trillingsintensiteit aan het werkvlak; deze grens zal echter, wanneer men materiaal met geringe verliezen voor de transformatorlichamen gebruikt (hoge waarde van de mechanische $Q$ van het systeem), zeer hoog liggen.

Wij willen in dit verband nog twee andere mogelijkheden noemen om — onder bepaalde omstandigheden — een hoger rendement te verkrijgen dan met een enkelvoudige transformator.

1) Men kan praktisch goed bruikbare transformatoren maken met doorsnedediscontinuïteiten in andere vlakken dan die van de verplaatsingsbuiken. Zo geeft in het bijzonder een $\lambda/2$-transformator bestaande uit twee cilindrische stukken ter lengte $\lambda/4$ en van verschillende doorsnede (zie b.v. fig. 9), een amplitudetransformatie in de reciproke verhouding van de doorsneden aan de beide uiteinden, d.i. dus een grotere verhouding dan bij de overeenkomstige transformator met geleidelijk verlopende doorsnede. Bij dezelfde amplitude aan het werkvlak echter zijn de wisselende materiaalspanningen die in een transformator van dit type optreden, veel groter, zodat moeilijkheden door materiaalvermoeidheid kunnen voorkomen. Het gebruik van deze dubbele $\lambda/4$-transformatoren moet daarom beperkt blijven tot betrekkelijk kleine amplitudes.

2) Zoals wij reeds eerder vermeldden, moeten aanpassingsstukken over het algemeen zo gekozen worden dat de einddoorsnede vergelijkbaar is met die van de boor. Gewoonlijk werkt men met iets kleinere dan de optimale belasting van de boor, opdat kleine veranderingen in de grootte van het werkvlak van de boor of in de belastingsomstandigheden de aanpassing van de generator niet al te zeer verstoren. Soms is het echter mogelijk het boorrendement enigszins op te voeren (zonder dat het nodig is de $Q$-waarde van het systeem bij nullast te vergroten) door eenvoudig de snijdende oppervlakte van de boor te vergroten in verhouding tot de oppervlakte van het transformatoreinde. (Om hiervan voordeel te trekken, dient echter het gehele elektromechanische systeem speciaal voor bepaalde condities ontworpen te zijn.) Op deze wijze wordt zowel de door het vloeibare medium veroorzaakte stralingsbelasting als de belasting door het werkstuk direct vergroot. Is de oppervlakte van de boor vrij groot, dan kan het stralingsverlies van het vrije gedeelte van het bovenoppervlak vermeden worden door dit te bekleden met een akoestisch isolatiemateriaal (sponsrubber of iets derg.).

Bij zulk een systeem is het van belang dat de afmetingen van de boor (vooral de dikte) zodanig zijn dat buigingstrillingen niet in sterke mate kunnen worden aangeslagen.

## Ultrasone boormachines

Als voorbeelden van de toepassing der bovenomschreven principes geven wij hier een beschrijving van twee ultrasone boormachines die ontwikkeld en vervaardigd zijn in de Mullard Research Laboratories. De eerste is een klein instrument voor het boren op kleine schaal, waarbij een elektromechanische omzetter van het gelamelleerde staaftype gebruikt wordt, de andere is een volslagen bewerkingsmachine voor algemeen gebruik in de werkplaats, met een omzetter van het gelamelleerde raamtype. Het ingangsvermogen van het kleine instrument is zo gering dat de omzetter niet gekoeld behoeft te worden; de grote machine daarentegen heeft waterkoeling nodig. De meeste bewerkingen, die hier als voorbeeld beschreven zullen worden, werden met deze apparaten verricht.

De kleine boormachine is afgebeeld in *fig. 7*. Zij is bestemd voor een vermogen van 50 W, bij ca. 20 kHz. De omzetter (fig. 3) bestaat uit een gelamelleerd nikkellichaam van $1{,}8 \times 1{,}8$ cm doorsnede, dat door een geschikte warmtebehandeling van de lamellen de gewenste magnetische eigenschappen heeft verkregen. De lamellen zijn door een isolerende kit tot een compacte massa verenigd. Aan de onderkant van het lichaam is een stalen bus met inwendige schroefdraad bevestigd, waarin één van een reeks verschillende mechanische transformatoren kan worden geschroefd. Het trillichaam is in het midden (een knoop) onbeweeglijk vastgeklemd. Op de bovenste helft ervan is de bekrachtigingswikkeling aangebracht, en wel zodanig dat deze, ten einde mechanische demping te vermijden, niet met

[15]) Voor de definitie van de materiaalconstante $k$, zie b.v. het aangehaalde artikel van C. M. van der Burgt [12]). Behalve deze $k$, kan men andere koppelingscoëfficiënten definiëren, waarin tevens de aard en de grootte van het trillende systeem verdisconteerd worden, b.v. $k_{\lambda/2}$ (voor een $\lambda/2$-resonator), $k_{\lambda/2,\,met.}$ (voor een gelamelleerde metalen $\lambda/2$-resonator; deze constante is kleiner dan $k_{\lambda/2}$ wegens wervelstroomverliezen), en een totale koppelingscoëfficiënt $k$ (voor een samengesteld systeem, b.v. omzetter + transformator(en) + boor). Het is deze laatste $k$ waar het hier om gaat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



de trillende lamellen in aanraking komt. De omzetter wordt gevoed door een normale combinatie van oscillator en eindversterker. *Fig. 8* is een blokschema van de opstelling. De uitgangszijde van de versterker wordt door een transformator, die voor de gekozen frequentie geconstrueerd is, aangepast bij de belasting door de omzetter. Deze belasting kan men zonodig variëren, eenvoudig door het aantal windingen van de bekrachtigingsspoel te veranderen. De voormagnetisatie van de omzetter wordt bewerkstelligd door het magnetische circuit te sluiten met een gelamelleerd juk van materiaal van hoge permeabiliteit, dat een afzonderlijke, met gelijkstroom uit een geschikte laagspanningsbron gevoede, wikkeling draagt; zie fig. 8*a*. Het juk sluit voldoende dicht op het trillichaam aan, zonder dit echter te raken. De exponentieel verlopende mechanische transformatoren voor het vergroten van de trillingsamplitude aan het uiteinde van de omzetter, zijn reeds afgebeeld in fig. 5. De gewenste boor kan op het einde van de transformator geschroefd of gesoldeerd worden. De gehele boorkop is gemonteerd op een precisieboorstatief, waarbij voorzieningen zijn getroffen om de boor met de nodige lichte kracht op het werkstuk te laten drukken.

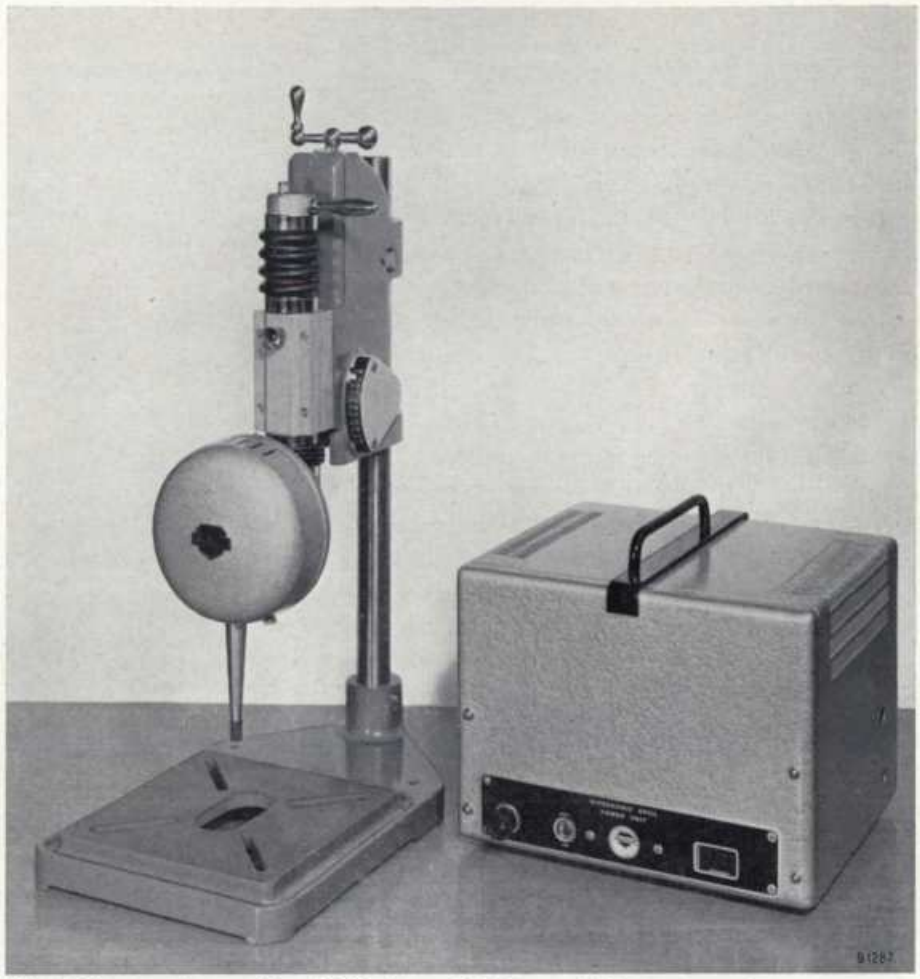


Fig. 7. Ultrasone boormachine (Mullard type E 7682) voor klein vermogen: ingangsvermogen 50 W, frequentie ca. 20 kHz.

De triller van de grotere machine (voor 2 kW) is een raamvormig gelamelleerd nikkellichaam. Hierbij vloeien de voormagnetisatiestroom en de wisselstroom door een zelfde wikkeling (zie fig. 8*b*). De tot een vierkante doorsnede opgestapelde lamellen (*V*, *fig. 9*) zijn door hardsolderen bevestigd aan een taps eind- of koppelstuk (*B*) en daarna tot een compact geheel verbonden met een kunstharskit. De triller wordt met behulp van een ter plaatse van

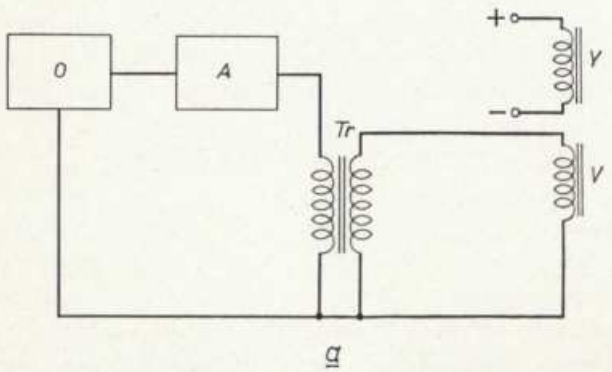
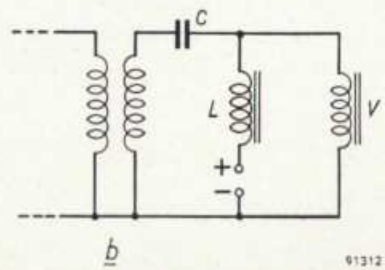



Fig. 8. *a*) Vereenvoudigd schema van de trilleraandrijving voor de kleine boormachine. *O* oscillator met variabele frequentie, *A* eindversterker, *Tr* omlaag transformerende uitgangstransformator, + en − aansluitklemmen voor gelijkstroom voor de voormagnetisatie, *V* elektromechanische omzetter, *Y* juk. *b*) Bij de boormachine voor groot vermogen zijn een blokkeercondensator *C* en een smoorspoel *L* voor lage frequenties toegevoegd, die het mogelijk maken de gelijkstroom voor de voormagnetisatie en de wisselstroom te laten vloeien door een zelfde wikkeling op het piëzomagnetische trillichaam.




Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



een trillingsknoop aangebrachte flens aan de onderkant van de koelmantel $J$ bevestigd. Het geheel kan door middel van een tandheugelmechanisme ($R$) op en neer bewogen worden in kogelglijlegers. Het gewicht van de triller levert voor vele boorbewerkingen een te grote statische druk op het werkstuk; het kan daarom door een, aan een hefboom verschuifbaar tegenwicht (niet afgebeeld in fig. 9) zover nodig worden gecompenseerd.

De gehele boorkop is boven een werktafel gemonteerd, die grote gelijkenis vertoont met die van een normale freesmachine. Het werkstuk kan aldus nauwkeurig langs drie onderling loodrechte assen bewogen worden, waardoor de machine soortgelijke hoedanigheden als de bekende coördinatenboormachines verkrijgt.

De boor wordt bevestigd aan de onderkant van een mechanische transformator ($Tr$), die op het tapse koppelstuk (dat in feite ook niets anders is dan een mechanische transformator) wordt geschroefd. *Fig. 10* toont een foto van de gehele machine, terwijl *fig. 11* een close-up geeft van een tapse transformator met een boor.

**Toepassingen**

De waardevolste toepassingen van de vibratiebewerkingsmethode berusten op het feit dat gaten en indrukken van ingewikkelde vorm in elk

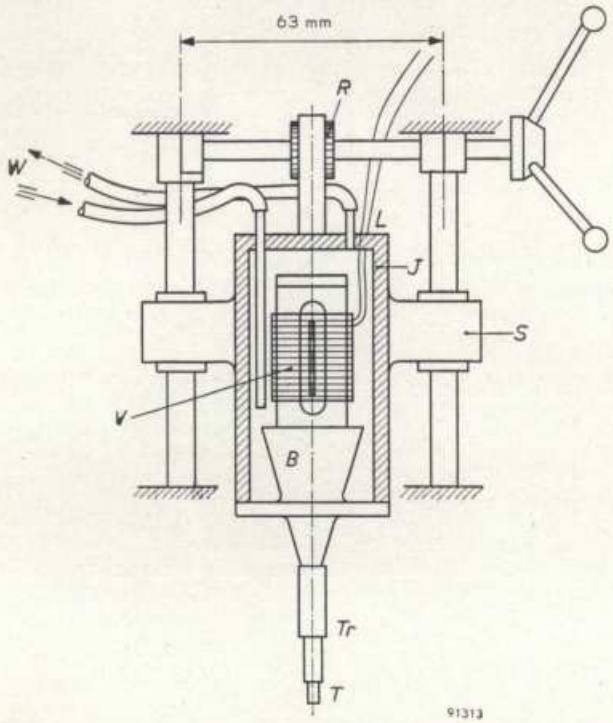



Fig. 9. Voornaamste onderdelen van de ultrasone boormachine voor groot vermogen. $S$ kogelglijlegers, $J$ watermantel, $L$ stroomtoevoer voor de trillerwikkeling, $R$ tandheugelmechanisme, $W$ wateraansluitingen, $V$ piëzomagnetische omzetter, $B$ $\lambda/2$-koppelstuk, $Tr$ mechanische transformator uit twee cilindrische $\lambda/4$-stukken, $T$ boor.

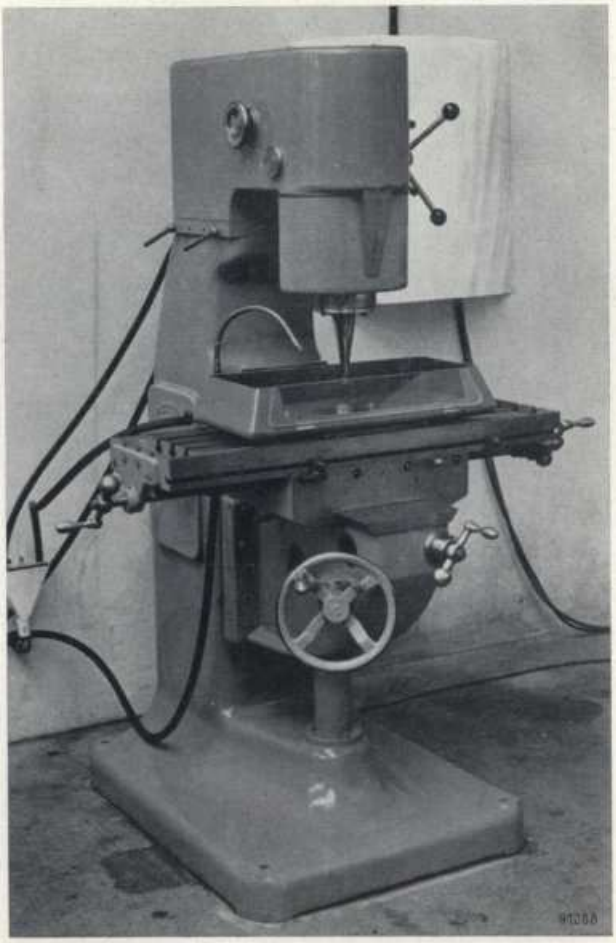



Fig. 10. Mullard boormachine voor groot vermogen, gemonteerd op het onderstel van een normale freesmachine, met beweegbare werktafel.

willekeurig bros materiaal kunnen worden gemaakt. Een grote categorie brosse materialen zijn diegene die met sintertechnieken worden vervaardigd. Deze zijn volgens de gebruikelijke methodes dikwijls zeer moeilijk te bewerken. Gewoonlijk worden onderdelen van zulke materialen eerst in de gewenste vorm geperst en daarna pas door verhitten gesinterd, opdat het gesinterde onderdeel zo weinig mogelijk verdere bewerking behoeft te ondergaan. Met ultrasone machines is het mogelijk het volledig gesinterde materiaal zonder moeite tot elke gewenste, nòg zo ingewikkelde vorm te bewerken. Voorbeelden zijn het aanbrengen van gaten, sleuven en verdiepingen in keramische materialen en in gesinterde carbides.

Met de nieuwe methode kunnen op eenvoudige en snelle wijze reliëfpatronen gemaakt worden. Het gereedschap is eenvoudig een omgekeerd reliëf van hetzelfde patroon, gemaakt van een geschikt metaal. Daar de verspaning van het werkstuk op uiterst fijne schaal geschiedt, kunnen zelfs minuscule details nauwkeurig gereproduceerd worden. Bij de bewerking van glas, keramische en andere

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



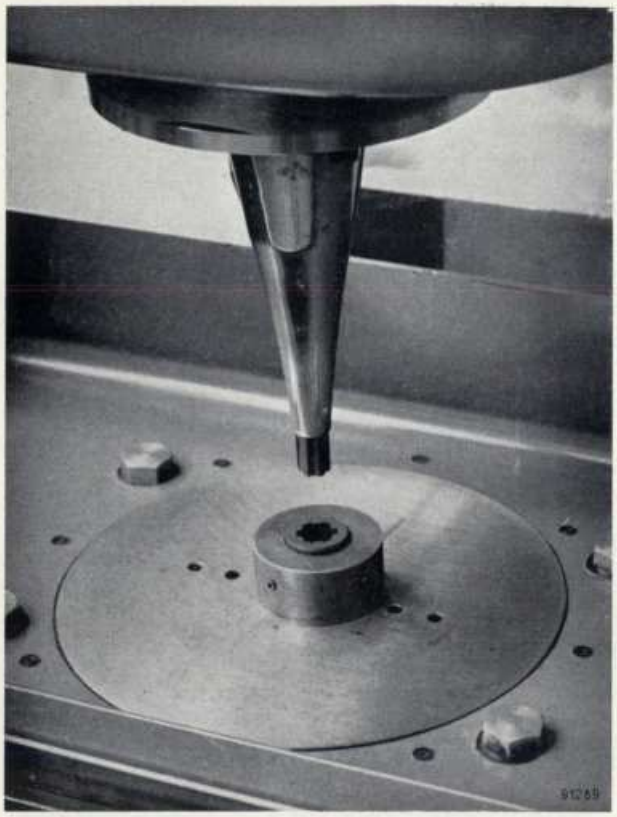


Fig. 11. Close-up van een mechanische transformator en boor, bevestigd op de machine voor groot vermogen.

materialen van vergelijkbare hardheid kan men met een enkel gereedschap zeer vele indrukken vervaardigen voordat er van enig merkbaar scherpteverlies ten gevolge van slijtage van het gereedschap sprake is. Deze techniek kan natuurlijk ook dienen om stempels van gesinterde carbides of van stempelstaal voor medailles of geldstukken te maken. Bij bewerking van zulke materialen is de slijtage van het gereedschap altijd aanzienlijk, zodat het nodig is vóór de fijne bewerking een ruwe voorbewerking uit te voeren. Foto's van op deze wijze vervaardigde reliëfindrukken en van de eerder genoemde gaten, sleuven enz. in glas en in wolfraamcarbide ziet men in *fig. 12*.

Saffier, robijn en agaat laten zich zeer snel bewerken; derhalve kan men op deze wijze edelsteenlegers voor horloges en precisie-instrumenten veel sneller dan volgens de oudere methodes vervaardigen. Bij zulke toepassingen bestaat de voornaamste bewerking uit het uitsnijden van kleine schijfjes uit een dunne plaat van het materiaal. Daar zeer kleine afmetingen vereist zijn, is het mogelijk (en economisch zelfs zeer gewenst) om met één enkel gereedschap een groot aantal schijfjes tegelijk uit te snijden. Voor een typische bewerking van deze soort bestond het gereedschap uit een cilindrisch stuk van zachtstalen staafmateriaal, van 9 mm lengte en 15 mm diameter, waarin evenwijdig aan de as 35 gaatjes elk van 1,6 mm diameter geboord waren. Om een zuiver axiaal gerichte snede te waarborgen en afsplinteren langs de kanten te voorkomen wanneer het gereedschap het werkstuk binnendringt, worden de saffieren platen onwrikbaar vastgezet op een glazen steunplaat, waarin men het gereedschap, nadat de saffier is doorboord, nog een eindweegs laat binnendringen. Op deze manier kan men uit een saffierplaat van 1 mm dikte in ongeveer één minuut 35 schijfjes uitsnijden met een diameter tot op $\pm 0{,}025$ mm nauwkeurig.

Een andere belangrijke toepassing doet zich voor bij de fabricage van transistors, daar het hierbij gebruikte materiaal, germanium of silicium, voldoende bros is om zich op deze wijze gemakkelijk te laten bewerken. De meest economische wijze om plakken van grote kristallen af te snijden, is deze, dat men een meervoudig snijgereedschap gebruikt in de vorm van een stel evenwijdige messen, die op de juiste onderlinge afstand onwrikbaar zijn vastgezet in een raam. Voor het uitsnijden van de kleine schijfjes die men in de transistorfabricage

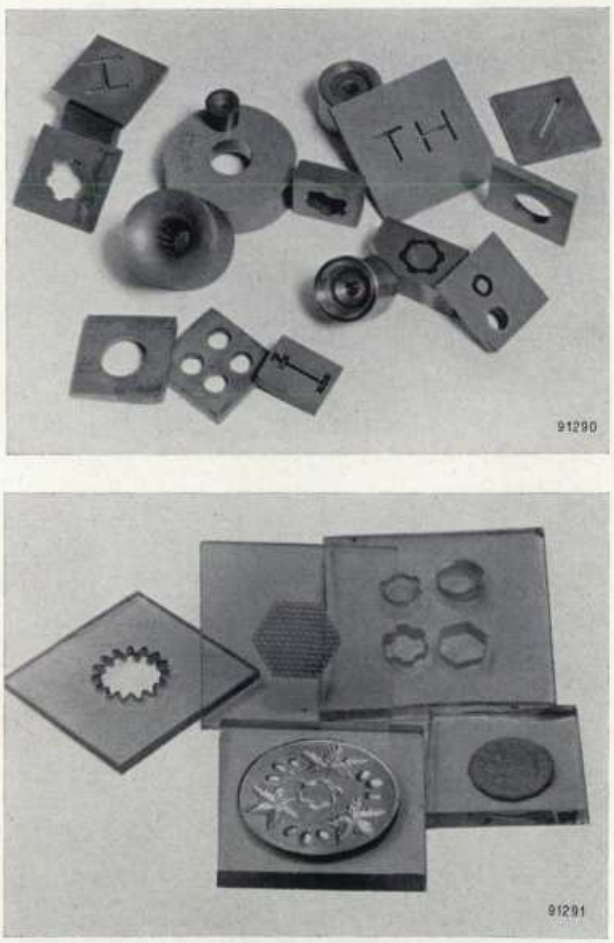


Fig. 12. Gaten en bas-reliëfpatronen van verschillende vorm, gemaakt in gesinterd wolfraamcarbide (boven) en glas (onder).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



nodig heeft, gebruikt men weer een meervoudig boorgereedschap zoals boven beschreven. De zo verkregen produktiemethode is zeer doelmatig en betekent een grote stap voorwaarts vergeleken bij het gebruik van roterende, met diamantpoeder geïmpregneerde gereedschappen.

Bij gebruik van conventionele werkwijzen is het uiterst moeilijk zeer kleine of nauwe gaatjes in brosse materialen te boren. Dit geldt zelfs al voor ronde gaten. Proeven hebben aangetoond, dat daarentegen met de ultrasone boor, mits men met de nodige zorg te werk gaat, uiterst kleine gaatjes, tot een diameter van 0,18 mm of nog minder, gemaakt kunnen worden. Om de vereiste, uiterst lichte, statische kracht aan te brengen, maakt men het beste de boor onbeweeglijk en laat het werkstuk zelf, op een geleid platform, door een zwakke veer heel licht omhoogdrukken. Men kan dan de kracht instellen door de indrukking van de veer te wijzigen. Voor het boren van kleine ronde gaatjes, waarbij het op nauwkeurige cirkelvormigheid aankomt, is het aan te bevelen het werkstuk gedurende het boren te draaien. Een grote draaisnelheid is hierbij niet noodzakelijk; een paar omwentelingen per seconde is voldoende. De draaiing helpt ook aanmerkelijk om het slijpmiddel onder de boor te doen circuleren. Als voorbeelden van het boren van kleine gaatjes met zeer kleine tolerantie noemen wij de vervaardiging van diamanten trekstenen, en wederom de fabricage van transistors.

Zeer belangrijk is de mogelijkheid om met de ultrasone techniek te boren op anders onbereikbare plaatsen. Men brengt hiertoe de trillingen van de transformator over op de boor via een buigbare koppeling, in de vorm van een dunne draad van een materiaal met voldoend grote vermoeidheidssterkte en met geringe inwendige verliezen. Deze techniek maakt het bij gebruik van een geschikte draad mogelijk zelfs op aanzienlijke afstand van de omzetter te werken. De ervaring heeft geleerd dat dit ook een bijzonder handige manier is om snel kleine gaatjes te boren waar dit met de hand moet geschieden en waar de plaats niet erg nauw luistert. De trillingen planten zich in hoofdzaak, en met slechts geringe verzwakking, als axiale trillingen voort; er treedt slechts een kleine afschuivingscomponent op, zelfs indien de draad zo sterk gebogen wordt dat de kromtestraal klein is, vergeleken met de golflengte. Hierop berust een merkwaardige variant van deze techniek: het boren van gebogen kanalen — gaten waarvan de hartlijn een kromme lijn kan volgen, en van elke gewenste doorsnedevorm. Vele boringen van dit soort in glas zijn inderdaad uitgevoerd.

In verband met de laatst beschreven werkwijze is ook in de tandheelkunde een veelbelovend toepassingsgebied voor de ultrasone boortechniek te vinden. Er zijn in deze richting proeven genomen met op vrij grote afstand geplaatste trillers en de genoemde mechanische transmissie door een draad; ook werden hierbij miniatuurtrillers beproefd.

De omvangrijkste toepassing zal de trilbewerkingstechniek waarschijnlijk vinden op het gebied van de fabricage van matrijzen, vormstukken en trekstenen, daar de hierbij gebruikte materialen — gehaarde staalsoorten, gesinterde carbides en diamant — bros genoeg zijn om op deze wijze snel bewerkt te worden. Het maken van matrijzen volgens de tot nu toe gebruikelijke methodes is over het algemeen een zeer tijdrovend karwei, met langdurig leppen, dat met de hand dient te geschieden en waarbij kostbaar diamantpoeder en met diamant geïmpregneerd gereedschap te pas komen. Bovendien moeten enigszins ingewikkelde matrijzen gewoonlijk uit een aantal segmenten worden samengesteld, waardoor ze uiteraard niet sterk zijn. Al deze moeilijkheden worden bij de ultrasone techniek vermeden. De ingewikkeldste vormen kunnen betrekkelijk snel uit één stuk gesneden worden, met behulp van goedkoop boriumcarbide als slijpmiddel, behalve in het geval dat diamanten zelf bewerkt moeten worden. Spuitmondstukken en trekstenen moeten een taps inloop- en uitloopgedeelte hebben. Dit kan men met een ultrasone machine heel gemakkelijk maken door een gereedschap van de gewenste tapse vorm te gebruiken. Wil men grote matrijzen van carbide maken, waarbij zeer veel materiaal moet worden verwijderd, dan kan men de bewerkingstijd verkorten door het carbidelichaam reeds ongeveer in de gewenste vorm te sinteren (waarbij echter alle inwendige afmetingen te klein gehouden worden) en de ultrasone bewerking alleen te gebruiken om het geheel op de juiste afmetingen af te werken. Op deze wijze kan men soms in één bewerking binnen de gestelde toleranties komen.

In het tweede deel van dit artikel zullen wij nader ingaan op boorsnelheid, nauwkeurigheid en oppervlaktegladheid.

---

**Samenvatting.** Het artikel vormt een inleiding tot de techniek van het boren met ultrasone trillingen. Deze bewerkingsmethode berust op het geleidelijk verpulveren van het materiaal van het werkstuk door een gesuspendeerd slijpmiddel, dat tussen boor en werkstuk wordt gebracht. Voor de vibratie van de boor kiest men bij voorkeur een frequentie in het ultrasone gebied (ca. 20 kHz) ter wille van de onhoorbaarheid en van een behoorlijke boorsnelheid. Als elektromechanische energieomzetter voor de aandrijving van de boor is bij deze frequenties een piëzomagnetische triller zeer geschikt. Beschreven worden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



twee trillertypen: een staaftriller en een raamtriller. Deze worden toegepast in twee door de Mullardlaboratoria in Salfords (Engeland) ontwikkelde ultrasone boormachines voor een vermogen van resp. 50 W en 2 kW. Enigszins uitvoerig worden ook besproken de mechanische transformatoren, die men tussen de omzetter en de boor aanbrengt om de amplitude van de laatste te vergroten. De techniek van het ultrasone boren kan alleen worden toegepast op brosse materialen, maar hiervoor is zij dan ook bij uitstek geschikt. Als toepassingen worden genoemd het snijden, het boren van gaten van willekeurige doorsnede en het maken van reliëfindrukken in glas, in gereedschapsstaal, in gesinterde carbides of andere keramische materialen en in edelstenen. Opmerkelijk is dat men door transmissie van de mechanische trilling via een buigbare draad ook kan boren op anders ontoegankelijke plaatsen, en dat men op deze wijze zelfs gaten met gebogen hartlijn kan maken. Van de vele gevallen waarin men de ultrasone techniek met voordeel kan toepassen, worden hier speciaal vermeld het maken van matrijzen en trekstenen, de transistorfabricage, het maken van edelsteenlegers voor horloges en meetinstrumenten, en de tandartsenpraktijk. In een vervolgartikel zullen de boorsnelheid, de nauwkeurigheid en de oppervlaktegladheid bij het ultrasoon boren worden behandeld.

# EEN PRECISIE-DRAAIBANKKOP

621.941.26-229.331

Draaibanken met een grote precisie in een richting loodrecht op de draaiingsas zijn normaal in de handel verkrijgbaar. Men kan op speciale banken assen draaien met een tolerantie voor de diameter van enkele micron, terwijl de plaatselijke oneffenheden van het oppervlak zelfs tot b.v. $^1/_2$ µ beperkt kunnen zijn. Wil men echter op een draaibank meer of minder vlakke voorwerpen vervaardigen, b.v. optische lenzen van kunststof, dan krijgt men te maken met de nauwkeurigheid in de richting evenwijdig aan de draaiingsas. Deze nauwkeurigheid, waarop bij normale toepassingen gewoonlijk minder wordt gelet, hangt in hoofdzaak af van de constructie van de eindlegers van de draaibankspil.

Ook bij andere bewerkingsmachines, zoals slijpbanken en boormachines, kan zich het geval voordoen dat, ter verkrijging van uiterst gladde oppervlakken, een in axiale richting zeer nauwkeurige legering van de spil nodig is. Met kegelvormige glijlegers voor dit doel zijn goede resultaten te bereiken, maar in verband met wisselingen in de belasting mag de speling niet te klein worden ingesteld. Dit beperkt uiteraard de te bereiken nauwkeurigheid.

Een constructie waarbij deze beperking niet optreedt en waarmee een zeer grote precisie, zowel radiaal als axiaal, wordt verkregen, is een aantal jaren geleden in het Philipslaboratorium te Eindhoven uitgewerkt. De constructie is in *fig. 1* getekend. In het einde van de cilindervormige, in dwarsrichting zeer nauwkeurig gelegerde, hoofdspil van de machine is een hardhouten stuk (*B*) bevestigd. Dit eindstuk steunt bij draaiing van de spil tegen een stilstaande metalen taats, waarvan het voorvlak zeer nauwkeurig vlak en loodrecht op de draaiingsas van de hoofdspil is gelept. De hoofdspil wordt met een constante kracht tegen de taats gedrukt, door in de afgesloten ruimte (*D*) waarin het aanrakingsvlak van taats en eindstuk zich bevindt, een constante druk, lager dan de atmosferische druk, te onderhouden. Met behulp van een micrometerschroef kan de taats in de asrichting verplaatst worden. Op deze wijze kan men het, op

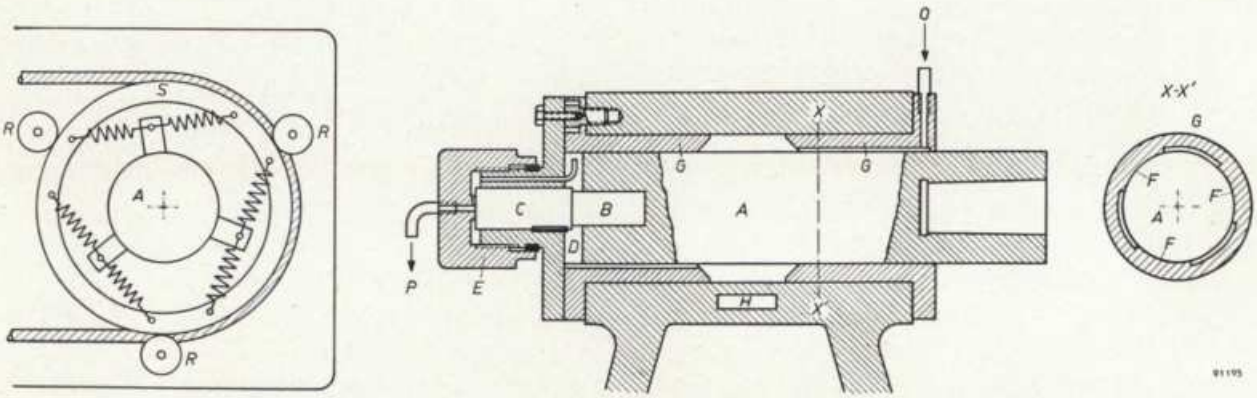



Fig. 1. Constructie van de precisie-draaibankkop. *A* stalen hoofdspil van de machine, radiaal gelegerd in het bronzen legerblok *G* met drie steunvlakken *F*; *B* hardhouten eindstuk; *C* metalen taats, die door de micrometerschroef *E* kan worden verplaatst. In de ruimte *D* wordt een constante druk, lager dan de atmosferische druk, onderhouden. *H* verwarmingselement. *O* en *P* toe- en afvoer van olie.
In de linkerfiguur is de aandrijving geschetst. De door zes veren met de spil verbonden snaarschijf *S* is gelegerd in drie aan de omtrek geplaatste rollen *R*, die worden gedragen door een aan de muur van de werkkamer bevestigde arm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



de hoofdspil bevestigde, werkstuk telkens over een zeer kleine afstand („spaandiepte") ten opzichte van het gereedschap verschuiven. Natuurlijk moet de stand van het gereedschap in axiale richting eveneens uiterst nauwkeurig worden gefixeerd, maar aan deze eis is betrekkelijk gemakkelijk te voldoen.

De onderdruk in de genoemde ruimte dient tegelijkertijd voor het overvloedig doorzuigen van de smeerolie langs de hoofdspil. Deze wordt aldus efficiënt gesmeerd, hetgeen nodig is met het oog op de zeer nauwkeurige radiale legering: zowel de stalen spil als de drie steunvlakken (*F* in fig. 1) in het bronzen legerblok zijn op maat gelept met een speling van niet meer dan ca. 1 μ. Dit betekent dat bij 5° afkoeling de spil door het verschil in uitzettingscoëfficiënten vast komt te zitten. Om te voorkomen dat bij lage kamertemperatuur de as te vast zit, houdt men het gehele legerblok met behulp van een verwarmingselement op ongeveer 22 °C. De sterke oliecirculatie zorgt ervoor dat de wrijvende oppervlakken ook niet plaatselijk noemenswaard boven deze temperatuur worden verwarmd, waardoor de speling te groot zou kunnen worden.

Het spreekt vanzelf dat de aandrijving van de spil zo gelijkmatig mogelijk dient te geschieden en dat het overbrengen van trillingen dient te worden vermeden. Daarom is de snaarschijf van de spil niet direct hierop bevestigd, maar met behulp van stalen veren eraan gekoppeld, terwijl de legering van de snaarschijf los van het legerblok is gehouden.

Welke axiale nauwkeurigheid door de beschreven constructie mogelijk wordt, illustreert *fig. 2*. Dit is een microfoto van het oppervlak van een vlakke schijf, afgedraaid op een draaibank die met de beschreven kop is uitgerust. Voor het afdraaien werd een diamanten beitel gebruikt met een ronde punt, waarvan de straal 200 μ bedroeg. De zijdelingse verplaatsing van de beitel bedroeg 9 μ per omwenteling. Het gedraaide oppervlak bevat dus naast elkaar gelegen groeven ter breedte van 9 μ en met een diepte van $(4{,}5)^2/(2\times 200) \approx 1/20$ μ. Bij inspectie van de foto ziet men dat de groefbreedte nergens meer dan ca. 5% varieert. Hieruit volgt dat gedurende korte tijden (voor de door fig. 2 bestreken oppervlakte duurde de bewerking ca. 5 sec) de verplaatsingen van de draaibankspil in axiale richting ten opzichte van de beitel minder dan 10% van

Fig. 2. Microfoto (vergroting ca. 250×) van het oppervlak van een schijf van kunststof, die vlak gedraaid is met een diamanten beitel op een precisiedraaibank, uitgerust met de beschreven kop. Uit de gelijkmatigheid van de breedte der groeven kan men afleiden dat tijdens de bewerking de verplaatsingen in axiale richting minder dan 1/200 micron hebben bedragen.

de groefdiepte hebben bedragen, i.c. dus minder dan 1/200 μ.

Met dezelfde draaibank werd de eerder in dit tijdschrift beschreven trilholte voor 8,75 cm golflengte vervaardigd [1]), waarmee uiterst nauwkeurige metingen van de diëlektrische verliezen in vaste stoffen worden uitgevoerd. Het was daarbij zaak de plaatselijke oneffenheden van wand, bodem en deksel van de trilholte klein te houden ten opzichte van de indringingsdiepte der hoogfrequente stromen, d.i. bij de genoemde golflengte ca. 1 μ. Uit metingen van de kwaliteitsfactor van de trilholte kon worden geconcludeerd dat de oneffenheden op de afgedraaide vlakken inderdaad zeer klein zijn ten opzichte van de genoemde indringingsdiepte. De draaibank wordt thans ook geregeld gebruikt voor het vervaardigen van de asferische correctieplaten van Schmidt-optieken, die worden toegepast in toestellen voor röntgencamerafotografie [2]).

L. M. LEBLANS.

[1]) M. Gevers, Meting van de diëlektrische constante en de verlieshoek van vaste stoffen bij 3000 MHz, Philips techn. T. **13**, 13-22, 1951.

[2]) Philips techn. T. **13**, 281-293, 1951. Voor de correctieplaten van kleinere Schmidt-optieken, b.v. voor televisietoestellen met geprojecteerd beeld, is een eenvoudiger fabricagemethode uitgewerkt; deze is beschreven in Philips techn. T. **9**, 349-356, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# TOEPASSINGEN VAN DE INTERFERENTIE VAN LICHT AAN DUNNE LAAGJES

door P. M. van ALPHEN.

535.417:621.397.2

*Interferentie van licht aan dunne laagjes heeft sinds geruime tijd toepassing gevonden in optische instrumenten, b.v. prismakijkers, en de laatste jaren ook bij kleurentelevisie. Met het oog op enige artikelen die over dit laatste onderwerp binnenkort in dit tijdschrift zullen verschijnen, wordt in het onderstaande iets over de theorie en de verschillende toepassingen van de genoemde interferentie medegedeeld.*

Zeer waarschijnlijk zal ieder in zijn jeugd wel eens geboeid zijn geweest door het verschijnsel van de interferentie van licht. Is het niet de olievlek op het natte asfalt, of zijn het niet de aanloopkleuren van het oxydehuidje op gesmolten metaal bij de poging om tinnen soldaatjes te gieten, dan zullen toch zeker de fraaie kleuren van een zeepbel in het zonlicht aan een ieder bekend zijn. Reeds eeuwen geleden is dit kleurenspel een prikkel geweest voor veler onderzoekingsdrift; niemand minder dan Newton is hierin voorgegaan.

Sinds ettelijke jaren is het bedoelde interferentieverschijnsel niet alleen meer van belang uit wetenschappelijk oogpunt, maar heeft het ook praktische betekenis gekregen. Wij willen over deze technische ontwikkeling hier een en ander mededelen, in de hoop dat daardoor het vermogen om door een zeepbel te worden geboeid, bij de lezer nog versterkt zal worden.

## Interferentie van licht aan een dunne doorzichtige laag

Wanneer licht wordt teruggekaatst aan een dun doorzichtig laagje, dan treedt interferentie op en als gevolg daarvan kan men bijzondere kleureffecten waarnemen. Ter verduidelijking beschouwen wij *fig. 1*, waarin *1* een zeer dun laagje water voorstelt, dat op een glazen plaat *2* is uitgespreid. Laten wij een bundel wit licht vrijwel loodrecht invallen, dan zal aan elk van de twee grensvlakken, *a* en *b*, een gedeelte van het licht worden weerkaatst. De gereflecteerde bundels lopen evenwijdig ($AR//CS$). Doordat het licht van de aan *b* teruggekaatste bundel een langere weg heeft afgelegd dan dat van de aan *a* teruggekaatste bundel, en beide bundels afkomstig zijn van dezelfde lichtbron, is er een fazeverschil tussen de golfverschijnselen ontstaan en kan er interferentie optreden. Indien het fazeverschil correspondeert met een geheel aantal golflengten, versterken de golfbewegingen elkaar en is de intensiteit van het gereflecteerde licht dus versterkt; komt het fazeverschil overeen met een oneven aantal halve golflengten, dan werken de golfbewegingen elkaar tegen en is de intensiteit van het gereflecteerde licht verzwakt, misschien zelfs nul geworden. In het eerste geval spreekt men van een reflectievermeerderende laag, in het tweede van een reflectieverminderende laag. Daar de verschijnselen afhangen van de golflengte, kan reflectievermeerdering voor de ene kleur samengaan met reflectievermindering voor een andere kleur.

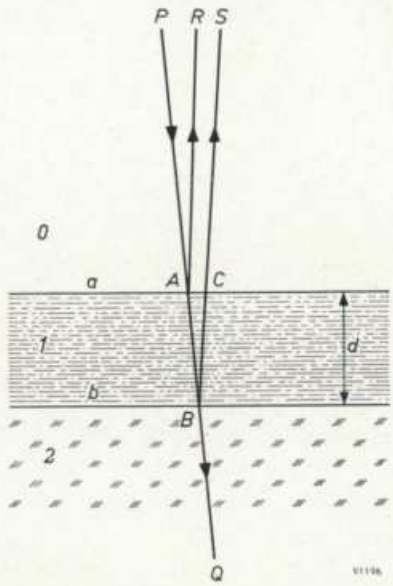



Fig. 1. Stralengang bij bijna loodrechte inval van een lichtstraal $PA$ in lucht (medium *0*) op een laagje water (medium *1*), dat zich bevindt op glas (medium *2*). $PABQ$ en $BCS$ zijn nagenoeg recht.

De grootte van het fazeverschil is eenvoudig te vinden. Bij loodrechte inval is het wegverschil twee maal de laagdikte $d$. De golflengte van het licht bedraagt in water $\lambda/n$, als $\lambda$ de golflengte in lucht voorstelt, en $n$ de brekingsindex van water. Het fazeverschil is in dit geval dus $(2nd/\lambda)\times 2\pi$ radialen. Valt het licht niet loodrecht in, maar

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



onder een hoek $\alpha$ met de normaal op het laagje (*fig. 2*), dan wordt het fazeverschil:

$$\frac{2nd\ \cos\vartheta}{\lambda} \times 2\pi \text{ radialen}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

als $\vartheta$ de hoek tussen de gebroken straal $AB$ en de normaal is ($\sin\alpha/\sin\vartheta = n$).

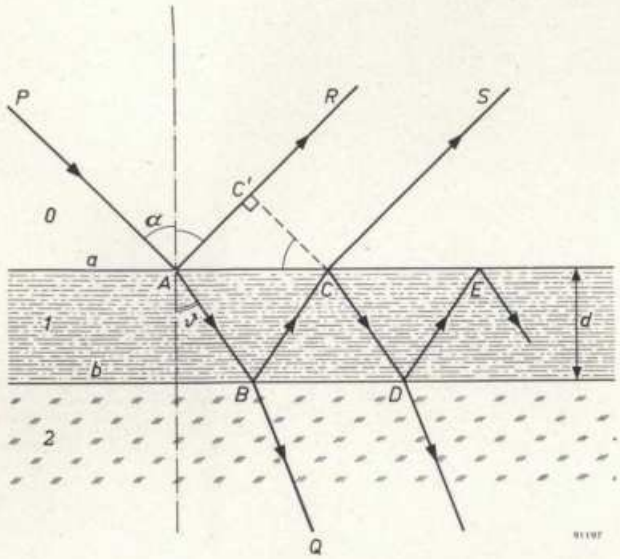



Fig. 2. Als fig. 1, maar nu voor scheve inval. Hier zijn ook enige herhaalde reflecties getekend.

Daar de in het water afgelegde afstand $ABC$ gelijk is aan $2d/\cos\vartheta$, zou men in de mening kunnen verkeren dat in de formule (1) de factor $\cos\vartheta$ in de noemer moet staan. Daarom geven wij hier in het kort de afleiding van (1).

De „optische weglengte" die de lichtstraal $ABC$ in het water met brekingsindex $n$ aflegt, is $2nd/\cos\vartheta$. Het in $A$ gereflecteerde licht moet het stuk $AC'$ afleggen voordat het in $C'$ het golffront van $C$ bereikt. Nu is $AC' = AC \sin\alpha$, $AC = 2d \operatorname{tg}\vartheta$ en $\sin\alpha/\sin\vartheta = n$, dus

$$AC' = 2d \operatorname{tg}\vartheta \sin\alpha = 2nd\frac{\sin^2\vartheta}{\cos\vartheta}.$$

Het optische wegverschil is derhalve:

$$2nd\left(\frac{1}{\cos\vartheta} - \frac{\sin^2\vartheta}{\cos\vartheta}\right) = 2nd\cos\vartheta,$$

in overeenstemming met (1).

Bij scheve inval is het fazeverschil dus geringer dan bij loodrechte inval.

Behalve met *dit* fazeverschil heeft men soms ook nog te maken met een fazesprong, en wel indien de terugkaatsing geschiedt aan een optisch dichtere stof, analoog aan de fazesprong zoals die kan optreden aan het eind van trillende snaren, orgelpijpen, lecherleidingen, golfgeleiders enz. Bij loodrechte inval van het licht bedraagt de fazesprong $\pi$ radialen. In het voorbeeld van fig. 1 geschieden beide reflecties aan een optisch dichtere stof (water is dichter dan lucht, glas dichter dan water). Zowel in $A$ als in $B$ treedt bij loodrechte inval dus een fazesprong van $\pi$ radialen op, zodat het fazeverschil er niet door verandert. Heeft men echter te doen met een vrij vlies, zoals een zeepbel, of bestaat de laag *1* in fig. 1 uit een stof die optisch dichter is dan glas, dan geschiedt alleen de eerste terugkaatsing aan een optisch dichtere stof, maar de tweede aan een optisch minder dichte, en bij deze laatste treedt geen fazesprong op. Bij loodrechte inval is dan de voorwaarde voor maximaal teruggekaatst licht:

$$\frac{2nd}{\lambda} + \tfrac{1}{2} = k, \quad \ldots\ldots \quad (2a)$$

en die voor minimaal teruggekaatst licht:

$$\frac{2nd}{\lambda} + \tfrac{1}{2} = k + \tfrac{1}{2}, \quad \ldots\ldots \quad (2b)$$

waarin $k$ een geheel getal is.

*Reflectiecoëfficiënt van een grensvlak en van een laag*

Beschouwen wij nu de reflectiecoëfficiënt $r$, voor het geval van reflectie aan één grensvlak. $r$ is afhankelijk van de brekingsindex, van de hoek van inval en van de polarisatierichting, en wordt gegeven door de formules van Fresnel. Bij loodrechte inval vereenvoudigen deze formules zich tot

$$r = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2. \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Voor glas ($n = 1{,}5$) vindt men: $r = 0{,}04$, en voor zinksulfide ($n = 2{,}4$): $r = 0{,}17$.

Formule (3) kan men eenvoudig afleiden uit het feit dat volgens de theorie van Maxwell de tangentiële component van zowel de elektrische veldsterkte $\boldsymbol{E}$ als de magnetische veldsterkte $\boldsymbol{H}$ aan de grens van twee media gelijk is (*fig. 3*):

$$\left.\begin{aligned} E_1 - E_1' &= E_2, \\ H_1 + H_1' &= H_2, \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

terwijl er bij loodrechte inval geen andere componenten zijn. (Index 1 heeft betrekking op het ene, index 2 op het andere

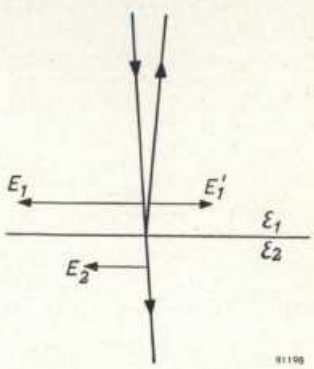



Fig. 3. De vrijwel loodrecht invallende, de teruggekaatste en de gebroken straal bij het grensvlak van twee media met diëlektrische constanten $\varepsilon_1$ en $\varepsilon_2$. De tangentiële componenten van het elektrische veld zijn resp. $E_1$, $E_1'$ en $E_2$. De tangentiële componenten van het magnetische veld staan loodrecht op het vlak van tekening en wijzen alle drie in dezelfde richting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



medium, het accent op de teruggekaatste straal. Dat in de ene vergelijking een minteken en in de andere een plusteken optreedt, komt doordat de invallende en de teruggekaatste straal in tegengestelde richtingen lopen; hierbij is dus één van de vectoren, b.v. de *E*-vector, van richting veranderd.)

Nu is $H_1 = \sqrt{\varepsilon_1}E_1$, $H_1' = \sqrt{\varepsilon_1}E_1'$, $H_2 = \sqrt{\varepsilon_2}E_2$ en $n = \sqrt{\varepsilon_2/\varepsilon_1}$ ($\varepsilon_1$ en $\varepsilon_2$ zijn de diëlektrische constanten), zodat wij in plaats van (4) kunnen schrijven:

$$E_1 - E_1' = E_2,$$
$$E_1 + E_1' = nE_2.$$

Door aftrekken en optellen volgt hieruit:

$$E_1' = \tfrac{1}{2}(n-1)E_2,$$
$$E_1 = \tfrac{1}{2}(n+1)E_2,$$

dus
$$\frac{E_1'}{E_1} = \frac{n-1}{n+1}.$$

De reflectiecoëfficiënt $r$ is het kwadraat van deze amplitudeverhouding, dus

$$r = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Hebben wij niet met één grensvlak te doen, maar met twee (of meer), zoals bij het bovengenoemde laagje water op glas of bij een zeepvlies, dan moeten wij voor een nauwkeurige beschouwing ook de herhaalde reflecties in aanmerking nemen: van de lichtstraal *BC* (fig. 2) treedt slechts een deel naar buiten (*CS*), terwijl de rest wordt gereflecteerd als *CD*; hiervan wordt weer een deel als *DE* teruggekaatst, enz. Daarbij treedt telkens al of niet een fazesprong op, naar gelang de brekingsindex van de laag kleiner of groter is dan die van het aangrenzende medium. Brengt men dit alles in rekening, dan vindt men voor de reflectiecoëfficiënt $R$ van de laag:

$$R = \frac{\varrho_a^2 + 2\varrho_a\varrho_b\cos 2\delta + \varrho_b^2}{1 + 2\varrho_a\varrho_b\cos 2\delta + \varrho_a^2\varrho_b^2}. \quad \ldots \quad (5)$$

Hierin is

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d\cos\vartheta, \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

en $\varrho_a^2$ en $\varrho_b^2$ zijn de reflectiecoëfficiënten van Fresnel aan de grensvlakken *a* resp. *b*. Bij loodrechte inval nemen $\varrho_a$ en $\varrho_b$ deze eenvoudige vorm aan:

$$\varrho_a = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}, \qquad \varrho_b = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}.$$

$n_0$, $n_1$ en $n_2$ zijn de brekingsindices van resp. de media *0* [1]), *1* en *2*. Uit het teken van $\varrho_a$ en $\varrho_b$ volgt of er al dan niet een fazesprong optreedt.

[1]) Stelt men $n_0 = 1$ in de uitdrukking voor $\varrho_a$, dan is $\varrho_a^2$ in overeenstemming met formule (3), waarbij als medium *0* lucht is gedacht.

Substitueert men de uitdrukkingen voor $\varrho_a$ en $\varrho_b$ in (5), dan vindt men voor $R$ bij loodrechte inval:

$$R = \frac{(n_0^2+n_1^2)(n_1^2+n_2^2) - 4n_0n_1^2n_2 + (n_0^2-n_1^2)(n_1^2-n_2^2)\cos 2\delta}{(n_0^2+n_1^2)(n_1^2+n_2^2) + 4n_0n_1^2n_2 + (n_0^2-n_1^2)(n_1^2-n_2^2)\cos 2\delta}. \quad (7)$$

De laagdikte $d$ en de golflengte $\lambda$ komen als $d/\lambda$ voor in de hoek $\delta$, zie (6); dat de brekingsindices enigszins van $\lambda$ afhangen (dispersie), laten wij hier buiten beschouwing.

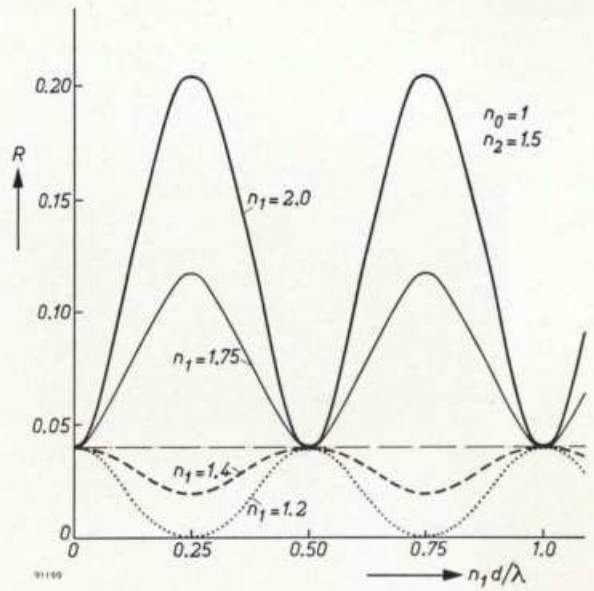



Fig. 4. Reflectiecoëfficiënt $R$ van een dun laagje (dikte $d$, brekingsindex $n_1$) als functie van $n_1 d/\lambda$, voor verschillende waarden van $n_1$. De brekingsindices $n_0$ en $n_2$ van de aangrenzende media zijn 1 resp. 1,5.

In *fig. 4* is het verloop van $R$ als functie van $n_1 d/\lambda$ getekend voor enige waarden van $n_1$, met $n_0 = 1$ (lucht) en $n_2 = 1{,}5$ (glas). De getrokken krommen ($n_1 > n_2$, geen fazesprong aan grensvlak *b*) vertonen reflectievermeerdering, de gestippelde krommen ($n_1 < n_2$, wel een fazesprong aan grensvlak *b*) vertonen reflectievermindering. Extreme waarden van $R$ treden op bij $n_1 d = (2k+1)\lambda/4$ en bij $n_1 d = 2k\lambda/4$. De grootte van de extreme waarde en de aard (minimum of maximum) zijn als volgt:

| Extreme waarde van $R$ | $n_2 > n_1 > n_0$ (gestippelde krommen in fig. 4) | $n_2 < n_1 > n_0$ (getrokken krommen in fig. 4) |
|---|---|---|
| $\left(\frac{n_1^2 - n_0n_2}{n_1^2 + n_0n_2}\right)^2$ | minimum bij $n_1 d = (2k+1)\lambda/4$ | maximum bij $n_1 d = (2k+1)\lambda/4$ |
| $\left(\frac{n_2 - n_0}{n_2 + n_0}\right)^2$ | maximum bij $n_1 d = 2k\lambda/4$ | minimum bij $n_1 d = 2k\lambda/4$ |

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



*Reflectievermindering*

Uit bovenstaande tabel ziet men dat de minima in de gestippelde krommen nul worden indien $n_1 = \sqrt{n_0 n_2}$ (dus indien $n_1 = \sqrt{n_2}$ als het medium 0 lucht is), en wel bij een laagdikte $d = \frac{1}{4}\lambda/n_1, \frac{3}{4}\lambda/n_1$, enz. Men zou dus de reflectie van een glasoppervlak kunnen verminderen door er een laagje van een stof met $n_1 = \sqrt{1{,}5} = 1{,}23$ op aan te brengen, en zo in optische instrumenten het lichtverlies door reflecties verkleinen. Stoffen met een zo kleine brekingsindex zijn er echter niet. In de praktijk gebruikt men stoffen met een zo klein mogelijke brekingsindex, zoals $NaAlF_4$ (kryoliet) met $n_1 = 1{,}35$ of $MgF_2$ met $n_1 = 1{,}38$, in een zodanig poreuze vorm dat de effectieve brekingsindex ca. 1,30 is. De reflectie, die voor het onbehandelde glas 4,2% bedraagt, is dan bij de golflengte $\lambda$ waarvoor $n_1 d = \frac{1}{4}\lambda$, verminderd tot 0,25%. Weliswaar is dan voor licht met golflengte $\lambda' = \frac{1}{3}\lambda$ de reflectie juist maximaal, maar deze bedraagt $(n_2 - 1)^2/(n_2 + 1)^2$ en is dus gelijk aan de reflectie van het onbehandelde glasoppervlak; met andere woorden: de laag maakt voor geen enkele golflengte de reflectie sterker (zie fig. 4). Men kiest de laagdikte in de regel zo dat de reflectievermindering effectief is in het groen; het glas reflecteert dan nog wat rood en blauw, en krijgt daardoor een violet uiterlijk. Een belangrijk voordeel is dat de laag zeer weinig absorbeert. In instrumenten met veel glasoppervlakken, b.v. prismakijkers, kan deze reflectievermindering een aanzienlijke verbetering van het contrast geven.

Door op het glas twee of drie lagen van verschillende stoffen aan te brengen, kan men de reflectie minimaal maken voor twee of drie verschillende golflengten en zo de reflectie sterk verminderen in het gehele zichtbare gebied. Wel is het effect dan nog vrij sterk afhankelijk van de invalshoek. Zijn de laagdikten gekozen voor b.v. loodrechte inval, dan zullen bij scheve inval de wegverschillen kleiner worden (factor $\cos\vartheta$ in (1) ) — in de verschillende lagen in verschillende mate —, wat het effect verkleint.

*Reflectievermeerdering*

Een reflectievermeerderende laag kan van nut zijn om de reflectie van b.v. een metalen spiegel nog wat te verbeteren. Zo lukt het om aan aluminium (reflectiecoëfficiënt 89%), door het te bedekken met een $\frac{1}{4}\lambda$-laag van SiO en een van $TiO_2$, een reflectiecoëfficiënt van 95% te geven.

Interessanter is het gebruik voor half doorlatende spiegels, wegens de verwaarloosbare absorptie. Een half doorlatende spiegel in de vorm van een enkele dunne, doorzichtige, laag metaal heeft altijd een aanzienlijke absorptie; bij zilver b.v. wordt 30% gereflecteerd, 30% doorgelaten en 40% geabsorbeerd. Brengen we op glas een laagje van een stof met $n_1 = 2{,}7$ aan, dan wordt volgens de eerste formule in bovenstaande tabel het maximum van $R$ gelijk aan 43%; wegens het vrijwel ontbreken van absorptie is de doorlating dus 57%. Zo verkrijgt men derhalve een zo goed als verliesvrije half doorlatende spiegel. Als materiaal voor het laagje komen $TiO_2$, $Sb_2S_3$ en ZnS in aanmerking. Door de laag niet direct op het glas aan te brengen, maar op een tussenlaag ter dikte $\frac{1}{4}\lambda/n_2$ en met kleinere brekingsindex $n_2$, kan men de reflectie nog opvoeren tot 52%.

**Kleursplitsende spiegels**

Tot hiertoe hebben wij in hoofdzaak de golflengte $\lambda$ van het licht constant gedacht. Wij gaan thans na wat er gebeurt bij variabele $\lambda$ en constante laagdikte $d$. Zien wij weer af van dispersie, dan kunnen wij uit fig. 4 de reflectiecoëfficiënt $R$ van een laagje aflezen als functie van $\lambda^{-1}$. Wij zien dat in het geval $n_2 < n_1 > n_0$ licht met golflengten $\lambda_{max} = 4n_1 d/(2k + 1)$ maximaal, en licht met golflengten $\lambda_{min} = 4n_1 d/2k$ minimaal wordt gereflecteerd, dus maximaal wordt doorgelaten. Er treedt derhalve een gedeeltelijke kleursplitsing op.

Dit effect kan worden versterkt op dezelfde wijze als zuivering van stoffen door destilleren of omkristalliseren kan worden verbeterd, namelijk door het proces te herhalen, hier dus door het licht nog eens door een dunne laag te laten gaan. Er moeten daartoe een aantal dunne lagen met grote brekingsindex na elkaar worden aangebracht. Het is duidelijk dat deze lagen van elkaar gescheiden moeten blijven, anders zouden de noodzakelijke grensvlakken verdwijnen en zou men één dikke laag krijgen. De scheiding moet geschieden door een stof met kleine brekingsindex. Over de techniek van het aanbrengen van zulke laagjes komen wij aanstonds te spreken.

Er is echter nog een voorwaarde waaraan voldaan moet zijn. De door de verschillende lagen doorgelaten en gereflecteerde stralen zullen onderling fazeverschillen vertonen; bij het combineren van een aantal lagen moet men derhalve ervoor zorgen dat het maximum van de ene laag dat van de volgende laag versterkt, en niet verzwakt. De lagen moeten dus op een zeer bepaalde afstand van elkaar liggen, de tussenlagen met kleine brekingsindex moeten derhalve voldoende stevig zijn. Men gebruikt voor de tussenlagen in de regel alkalifluoriden, die, evenals de andere lagen, door opdampen worden aangebracht. Principieel zijn dit

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



dezelfde stoffen als die welke in aanmerking komen voor reflectieverminderende laagjes.

Aangezien overeenkomstige punten van de reflecterende lagen op een optische afstand $\frac{1}{2}\lambda$ (d.i. een werkelijke afstand $\frac{1}{2}\lambda/n_1$) van elkaar moeten liggen — het fazeverschil moet $2\pi$ zijn, maar de afstand wordt twee maal doorlopen — en de laag zelf al een optische dikte $\frac{1}{4}\lambda$ heeft, dienen de tussenlagen nog een optische afstand $\frac{1}{4}\lambda$ te leveren. Men komt zo dus tot een opeenstapeling van lagen met afwisselend grote en kleine brekingsindex, alle met een optische dikte $\frac{1}{4}\lambda$.

Door dit combineren van een aantal lagen krijgt de reflectie als functie van $\lambda^{-1}$ een ander verloop: de kromme wordt steiler en er treden secundaire maxima op, meer naarmate het aantal lagen groter is. Het steilere verloop is wel te begrijpen wanneer men bedenkt dat bij b.v. zeven lagen ook het eerste en het laatste oppervlak nog moeten samenwerken; kleine afwijkingen in $d$ of $\lambda$ zijn additief en veroorzaken des te eerder een merkbaar fazeverschil naarmate er meer lagen zijn. Door de lagen niet alle precies even dik te maken, kan men de secundaire maxima verzwakken zonder dat dit veel invloed op het hoofdmaximum heeft.

Het vraagstuk van de berekening der interferentie aan een meervoudige laag komt in vele opzichten

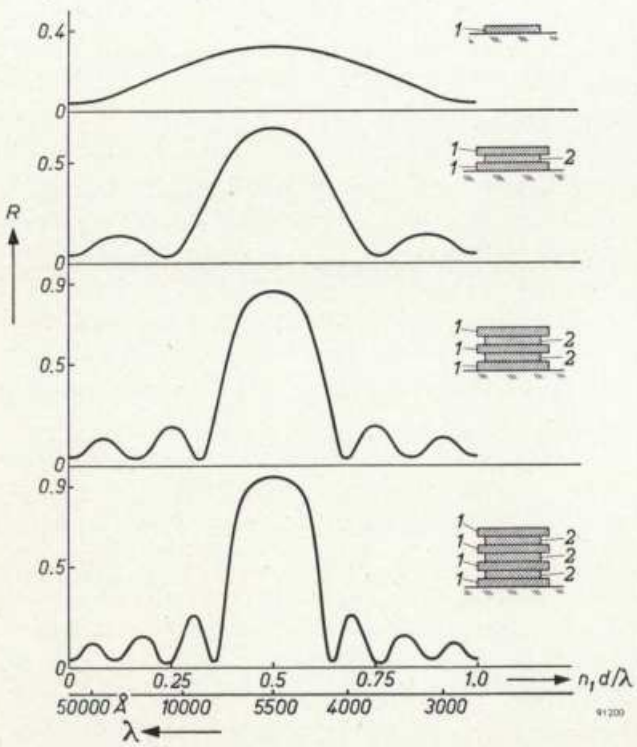



Fig. 5. Reflectiecoëfficiënt $R$ (berekend) van een enkele laag zinksulfide en van een drie-, een vijf- en een zevenvoudige laag op glas. De meervoudige lagen bestaan uit afwisselende laagjes zinksulfide *1* (dikte $d$, brekingsindex 2,4) en laagjes kryoliet *2* (brekingsindex 1,3); de drager is glas (brekingsindex 1,5).

overeen met dat van het optische tralie of rooster, waarbij een lichtbundel door een aantal naast elkaar geplaatste nauwe spleten gaat. De meervoudige laag is als het ware een „vlakkenrooster". De wiskundige behandeling ervan is nog gecompliceerder dan die van het spletenrooster, in de eerste plaats doordat

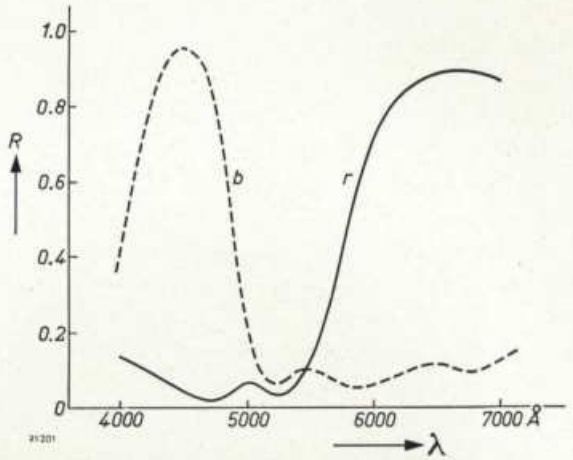



Fig. 6. Gemeten reflectiecoëfficiënt $R$ van twee kleursplitsende spiegels als functie van de golflengte: $r$ voor een rood, $b$ voor een blauw reflecterende spiegel.

men rekening moet houden met herhaalde reflecties tussen de lagen, en vervolgens doordat de intensiteit van de bundel die op een laag valt, anders is dan die bij de voorafgaande laag, daar telkens een gedeelte gereflecteerd wordt. Men kent verschillende, deels grafische, rekenmethodes om de theoretische kromme te berekenen. *Fig. 5* geeft de resultaten van een berekening voor één laag zinksulfide en voor drie, vijf en zeven lagen afwisselend zinksulfide en kryoliet, met glas als drager. Experimenteel bepaalde krommen wijken in het algemeen van de berekende af, doordat de lagen niet volkomen homogeen en niet overal precies even dik zijn, en doordat de dispersie is verwaarloosd. In *fig. 6* vindt men twee krommen, gemeten aan door ons vervaardigde spiegels.

### *Vervaardiging*

Voordat wij toepassingen van kleursplitsende spiegels bespreken, willen wij iets meedelen over de vervaardiging ervan.

Zoals boven is gebleken, heeft men laagjes nodig met een optische dikte van $\frac{1}{4}\lambda$ of een oneven veelvoud van dit bedrag, dus van de orde van $10^{-4}$ mm. Behalve mechanische methodes, zoals walsen (verschillende metalen), hameren (goud) en blazen (glas, zeepvlies), zijn van oudsher voor het vervaardigen van dunne laagjes methodes bekend zoals etsen, oxyderen en „inbranden" (platina). De laatste tientallen jaren zijn door de ontwikkeling van de vacuümtechniek

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



vooral de sublimatiemethodes belangrijk geworden. Hierbij wordt de op te brengen stof door katodeverstuiving of verhitting in hoogvacuüm in dampvorm gebracht en uit de gasfaze in vaste toestand op het te bedekken materiaal neergeslagen. Vooral de verhittingsmethode wordt veel toegepast. Men kan daarmee niet alleen metalen, maar ook allerlei zouten opdampen. Voorwaarden zijn dat bij ongeveer 1500 °C de stof niet is ontleed en een merkbare dampspanning bezit.

Onze installatie (*fig. 7*) is als volgt ingericht. Op een tafel $T$ (*fig. 8*) is een klok $K$ geplaatst op een rubberring $R$. Bij leegpompen van de klok wordt de ring in een groef samengeperst en vormt hij een vacuümdichte afsluiting. Rondom de pompbuis zijn in de tafel een aantal stevige stroomtoevoerstaven $I$ van molybdeen aangebracht, die met 300 A kunnen worden belast en met keramisch materiaal elektrisch van de tafel zijn geïsoleerd. Aan deze staven kunnen verdampingselementen $V$ worden bevestigd. De te bedekken glazen plaat $G$ steunt op drie staven $S$; twee daarvan hebben aan de bovenzijde een draaibaar stuk $B$, bij de derde staaf is dit stuk vast aan de staaf bevestigd, maar deze staaf

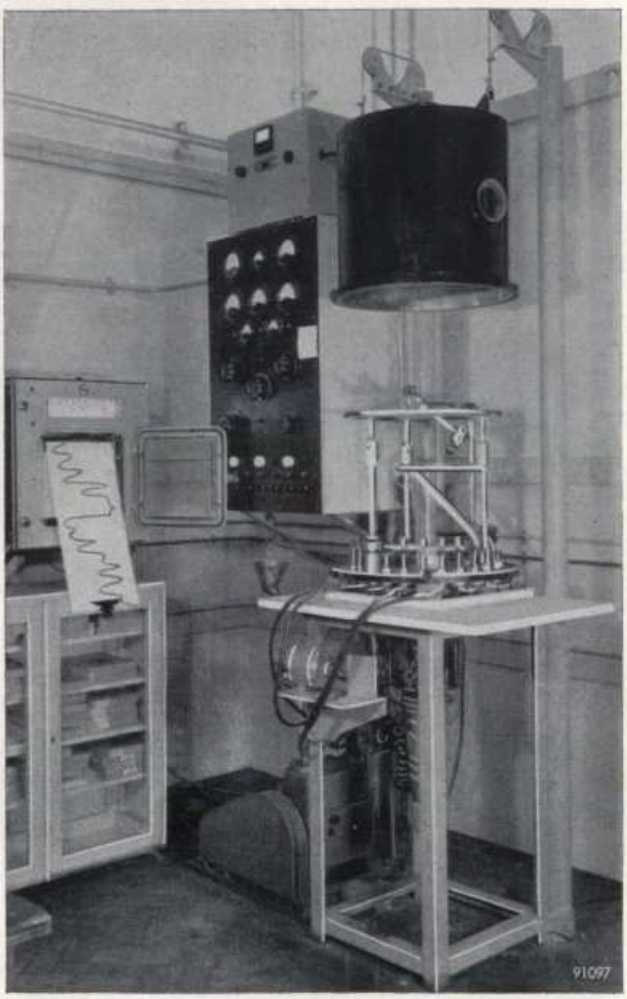



Fig. 7. Inrichting voor het opdampen van dunne laagjes in vacuüm. Rechts de (geopende) klok waarin het opdampen gebeurt (vgl. fig. 8); daarachter het schakelbord, o.a. voor het regelen van de gloeistroom der verdampingselementen. Links een registrerende meter, die de doorlating van de in behandeling zijnde glazen plaat optekent als functie van de tijd.

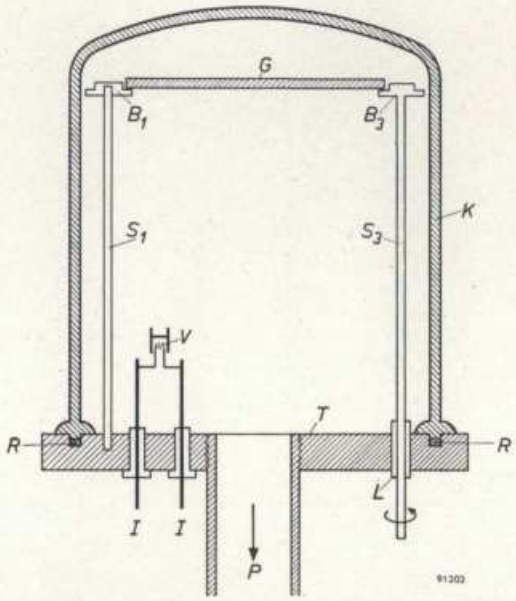



Fig. 8. Toestel voor het opdampen van dunne laagjes. $G$ is de te behandelen glazen plaat, $K$ de klok, vacuümdicht afgesloten door de rubberring $R$ in de tafel $T$, $P$ de pompbuis, $V$ één van de verdampingselementen, met gloeistroomtoevoeren $I$. $S_1$ vaste steunstaaf met losse kop $B_1$ ($S_2$, $B_2$ idem, niet getekend). $S_3$, met vaste kop $B_3$ en bij $L$ draaibaar en vacuümdicht door de tafel gevoerd, wordt door een motor aangedreven en doet de plaat $G$ langzaam roteren.

kan zelf door een motor worden rondgedraaid en is daartoe bij $L$ draaibaar en vacuümdicht door de tafel heen gevoerd. Dientengevolge gaat bij het draaien van de motor de glazen plaat roteren, zodat hij zeer gelijkmatig kan worden bedekt.

De verdampingselementen $V$ kunnen bestaan uit een kroesje, verhit door een wolfraamspiraal of een bandje van wolfraam of molybdeen. Voor vele doeleinden maken wij gebruik van een uitvoering die gelijkenis vertoont met een indirect verhitte katode. In een cilindrisch stuk molybdeen (*fig. 9*) is zowel boven als onder een holte gedraaid. In de onderste holte bevindt zich een met aluminiumoxyde geïsoleerde verhittingsspiraal van wolfraam; in de bovenste holte, die als kroesje fungeert, ligt de te verdampen stof. Wanneer het molybdeenlichaam heet gestookt is, verdampt de stof uit de bovenste holte en slaat hij neer op de glazen plaat. In ons toestel kunnen twaalf van deze verdampingselementen worden geplaatst, en deze kunnen afzonderlijk worden verhit. Men kan dus twaalf lagen achter elkaar opdampen zonder dat de klok geopend

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



behoeft te worden. Verder bevinden zich in de klok nog een lampje en een fotocel, waarmee tijdens het opdampproces de doorlating van de spiegel geregistreerd kan worden; in fig. 7 is een registreerstrook te zien.

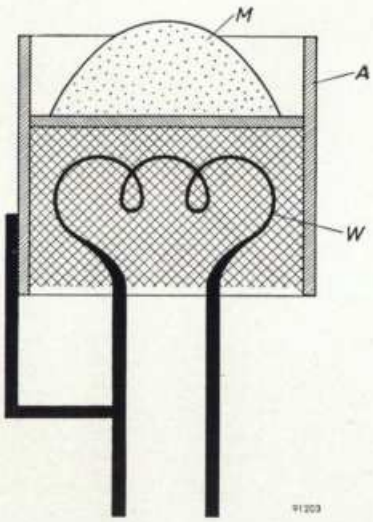



Fig. 9. Verdampingselement in doorsnede. *A* molybdeenlichaam, met gloeidraad *W* van wolfraam (geïsoleerd met aluminiumoxyde). *M* is het te verdampen materiaal.

De klok is opgehangen aan stalen kabels, met katrollen en tegenwichten. Na toelating van de buitenlucht kan de klok dus gemakkelijk omhooggeheven worden en is de verdampingsruimte van alle kanten bereikbaar.

**Toepassingen van kleursplitsende spiegels**

Zoals binnenkort in dit tijdschrift nader zal worden uiteengezet, kan men gekleurde televisiebeelden maken door drie beelden, elk in één van drie grondkleuren (b.v. rood, groen en blauw) over elkaar heen te projecteren. Een moeilijkheid hierbij is dat de drie monochromatische beelden in afmetingen volkomen gelijk moeten zijn. Zet men de drie projectors, die elk één van de beelden leveren, naast elkaar vóór het scherm (*fig. 10*), dan werpt de middelste een rechthoekig beeld op het scherm, maar de beide andere een enigszins trapeziumvormig beeld, en de twee trapezia wijken in tegengestelde zin van de rechthoek af. Met gewone optische middelen kan men bij lichtsterke systemen deze fout niet op een eenvoudige wijze compenseren zonder veel aan scherpte te verliezen.

Het verdient daarom de voorkeur, de drie beelden schijnbaar vanuit hetzelfde punt te projecteren. Dit nu kan men bereiken met behulp van half doorlatende spiegels (*fig. 11*). Met gewone half doorlatende metalen spiegels echter zou het lichtverlies zeer groot zijn. Zoals boven al werd vermeld, zijn de reflectie en de doorlating van zulke spiegels

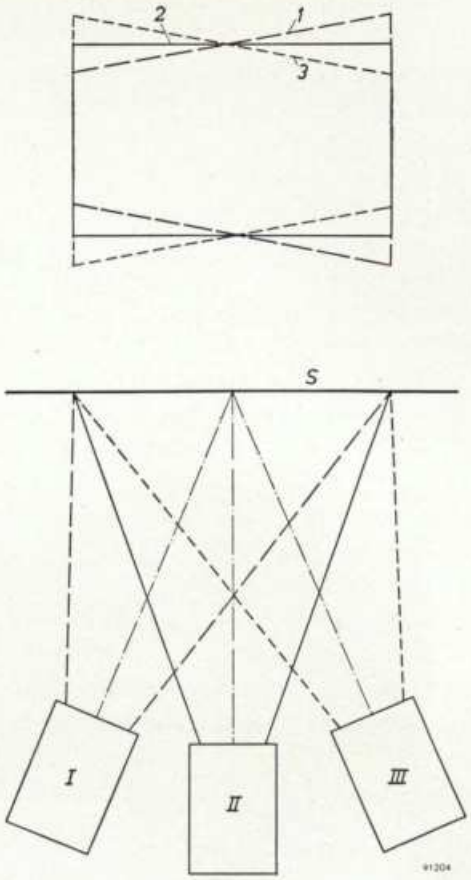



Fig. 10. De beelden van de drie projectors *I*, *II* en *III* op het scherm *S* komen niet tot dekking, doordat de scheefstaande projectors *I* en *III* trapeziumvormige beelden geven (*1* en *3*), en de projector *II* een rechthoekig beeld (*2*).

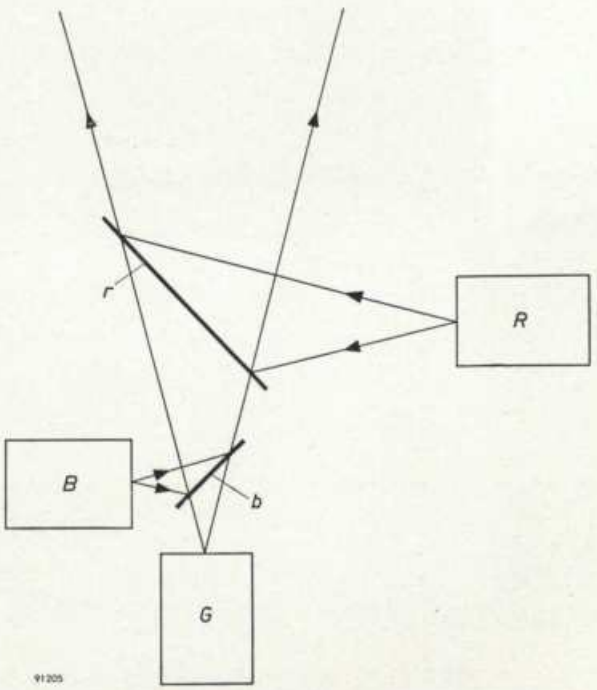



Fig. 11. Door gebruik te maken van half doorlatende, kleursplitsende spiegels, kan men met weinig lichtverlies de bundels van de drie projectors (*R* rood, *G* groen, *B* blauw) laten samenvallen. *r* is een rood, *b* een blauw reflecterende spiegel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



ieder ongeveer 30%. Van het licht van projector $R$ komt dus via reflectie aan de spiegel $r$ ca. 30% op het scherm, maar van het licht der projectors $G$ en $B$ wordt slechts ca. 9% nuttig gebruikt. Dit maakt het beeld zeer lichtzwak, waardoor de kleuren niet tot hun recht komen. Iets beter, maar toch nog onbevredigend, is het resultaat met spiegels bedekt met SiO-$TiO_2$ (25% nuttig gebruikt licht in plaats van 9%).

Kleursplitsende spiegels van het boven besproken type geven een aanmerkelijk beter lichtrendement. Zoals blijkt uit fig. 6, reflecteert in fig. 11 de spiegel $r$ 88% van het rode licht van projector $R$, de spiegel $b$ 93% van het blauwe licht van projector $B$. Van dit blauwe licht gaat door terugkaatsing aan de spiegel $r$ slechts 6% verloren, zodat 87% op het scherm valt. Het groene licht van projector $G$ wordt voor 10% door $b$ en voor 10% door $r$ gereflecteerd, zodat hiervan nog 81% nuttig wordt gebruikt.

Bij de in fig. 11 getekende opstelling is spiegel $r$ veel groter dan spiegel $b$. Dit is nodig omdat $r$ verder van de projectors $G$ en $B$ af staat en de bundels bij $r$ dus een grotere doorsnede hebben dan bij $b$. Om $r$ kleiner te kunnen maken, geeft men dikwijls de voorkeur aan een opstelling waarbij de spiegels elkaar doorsnijden en een kruis vormen (*fig. 12*). Hierbij maakt men gebruik van het feit dat men niet alleen het blauwe licht met weinig verlies door de rood reflecterende spiegel kan laten gaan, maar evenzeer het rode licht met weinig verlies door de blauw reflecterende spiegel (vgl. fig. 6). Het groene licht gaat in fig. 12, evenals in fig. 11, door beide spiegels.

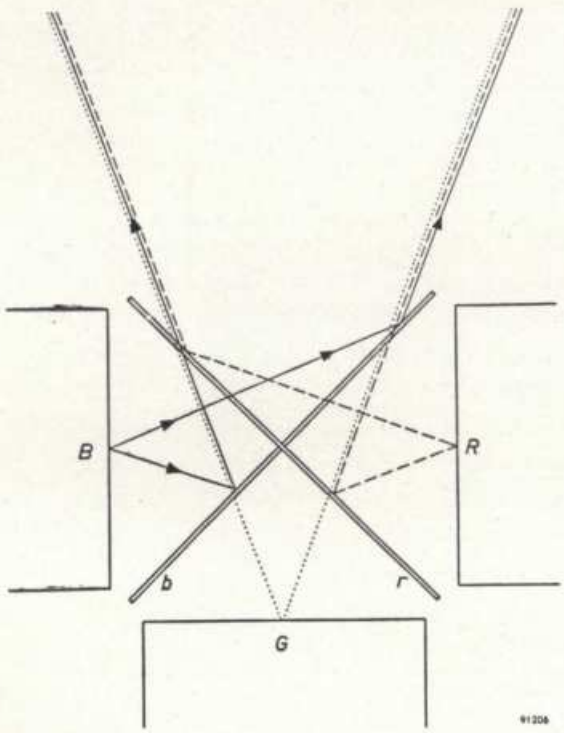



Fig. 12. Als fig. 11, maar met zodanig gewijzigde opstelling dat de rood reflecterende spiegel $r$ even klein kan zijn als de blauw reflecterende spiegel $b$.

In het bovenstaande voorbeeld wordt het licht van drie monochromatische lichtbronnen tot één gekleurd beeld samengesteld. Men kan ook het omgekeerde doen, d.w.z. het licht dat van een veelkleurig voorwerp afkomstig is, door middel van een dergelijk spiegelstelsel splitsen in zijn drie grondkleuren. Dit doet men bij het opnemen voor kleurentelevisie. Behalve de lichteconomie is daarbij van groot belang dat de scène niet vanuit drie punten, maar vanuit één punt (en in alle kleuren tegelijk) wordt bekeken.

*Correctiemaatregelen*

Daar de spiegel goed vlak moet blijven, dient de glazen plaat, die als drager van de interferentielagen fungeert, vrij dik te zijn. Deze dikte maakt enige correcties noodzakelijk.

De dikte maakt in de eerste plaats dat het licht dat door de achterkant van het glas is gereflecteerd, niet samenvalt met het licht dat aan de voorkant is weerkaatst, zodat er dubbele beelden ontstaan. Het van de achterkant afkomstige beeld heeft de complementaire kleur en is niet erg zwak, want het heeft juist de kleur die door de interferentielaag goed wordt doorgelaten. Men kan dit storende beeld lichtzwakker maken door de achterkant van de spiegel te voorzien van een laag die reflectieverminderend werkt voor de kleur van het doorgelaten licht.

Ten tweede geeft de dikte van een planparallelle glazen plaat die scheef in een niet-evenwijdige (dus convergente of divergente) lichtbundel is geplaatst, aanleiding tot optische afbeeldingsfouten. In *fig. 13* ziet men hoe de straal *1* van de bundel weinig en de straal *3* sterk door de glazen plaat zijdelings wordt verplaatst. De stralenvereniging bij het beeldpunt $B$ wordt hierdoor asymmetrisch. Stralen die men kan verkrijgen door straal *1* iets om de loodlijn $LM$ te wentelen ($M$ is het punt waar de invallende stralen, na verlenging, elkaar snijden), convergeren alle naar het snijpunt $N$ van $LM$ en de getekende straal *1*. Dit snijpunt ligt dichter bij de plaat dan $B$. Op deze wijze ontstaan voornamelijk astigmatisme en een geringe coma [2]). Door een afzonderlijk optisch element aan te brengen, kan men deze fouten neutraliseren, maar dit wil zeggen dat er b.v. een cilinderlens in de stralenloop geplaatst zou moeten

[2]) Voor deze optische afbeeldingsfouten, zie b.v. W. de Groot, Philips techn. T. **9**, 301-308, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



worden om het astigmatisme te corrigeren. Zoals H. de Lang, van het Philipslaboratorium te Eindhoven, heeft aangetoond [3]), kan men ook een compensatie, krijgen door slechts de vorm van de glazen plaat iets te veranderen. Wegens de spiegeldeelte onderschept en kan schaduwvorming door het vlakje $AB$ optreden. Dit nu kan voorkomen worden door de voorste spiegels ($r_1$, $b_1$) dikker te maken dan de achterste ($r_2$, $b_2$; fig. 14*b*): de breking in de dikkere spiegels verplaatst de bundel dan zo ver zijdelings

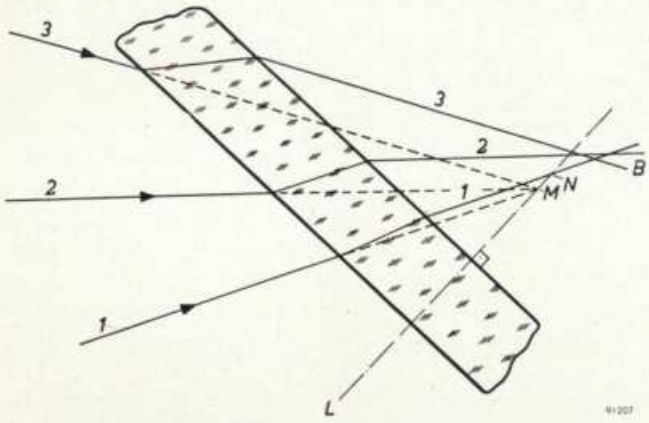



Fig. 13. De glasdikte van de half doorlatende spiegel veroorzaakt afbeeldingsfouten in de doorgelaten bundel: de naar $M$ convergerende stralen *1*, *2* en *3* snijden elkaar achter de spiegel niet meer in één punt.

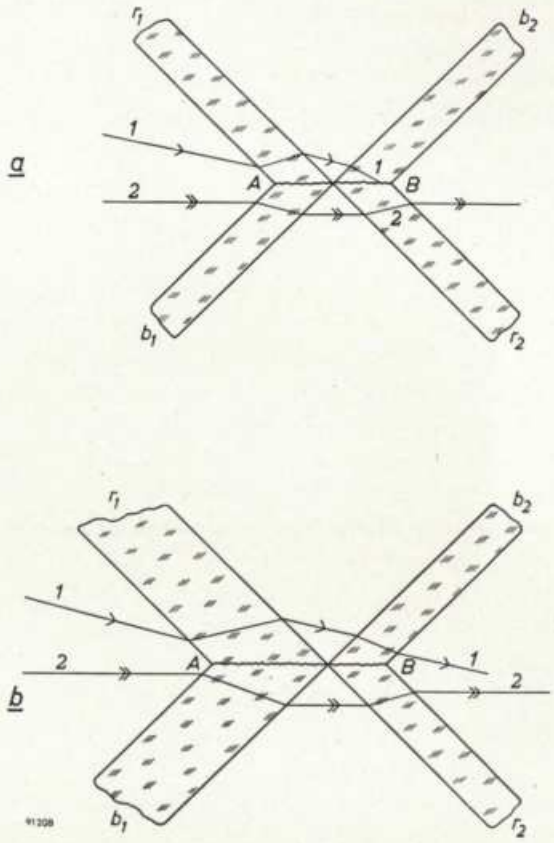



Fig. 14. $r_1r_2$-$b_1b_2$ zijn kleursplitsende spiegels in een opstelling die iets afwijkt van die van fig. 12. Bij (*a*) kan de straal *2*, die evenwijdig met het grensvlak $AB$ invalt, ongehinderd passeren, maar de scheef invallende straal *1* gaat in $AB$ verloren. Bij (*b*) zijn de voorste spiegels ($r_1$ en $b_1$) zo dik gemaakt dat de straal *1* voldoende ver zijdelings wordt verplaatst om $AB$ te vermijden.

werking moet de voorzijde vlak blijven, maar als men de plaat zwak wigvormig maakt of de achterkant zwak bolvormig slijpt, kan men de optische fouten in sterke mate onderdrukken. Bij een televisiecamera blijkt voor een plaat van enkele mm dik onder een hoek van 45° met de lichtbundel een prismahoek van 7′ of een kromtestraal van het achteroppervlak van 8 m al voldoende te zijn.

In de derde plaats levert de glasdikte moeilijkheden op bij de reeds genoemde kruisvormige opstelling van de spiegels. Gaat men te werk volgens fig. 12, dan moet de spiegel $b$ worden onderbroken om de spiegel $r$ door te laten en wordt daar ter plaatse het blauwe licht dus niet gereflecteerd. Men geeft daarom de voorkeur aan een constructie zoals is afgebeeld in *fig. 14a*. Door de dikte van het glas vormt nu echter het grensvlak $AB$ van de spiegels een onregelmatigheid, die licht kan onderscheppen, zoals het geval is met de straal *1*. Men plaatst daarom een dergelijk kruis bij voorkeur in een gedeelte van de opstelling waar de stralen zoveel mogelijk evenwijdig lopen met het vlak $AB$, dus b.v. evenwijdig met de optische as: straal *2* in fig. 14*a* wordt niet onderschept, maar van de lichtbundels die niet evenwijdig met de as lopen (afkomstig van b.v. de boven- en de onderrand van het af te beelden voorwerp), zoals straal *1*, wordt dan nog wel een gedeelte onderschept en kan schaduwvorming door het vlakje $AB$ optreden. Dit nu kan voorkomen worden door de voorste spiegels ($r_1$, $b_1$) dikker te maken dan de achterste ($r_2$, $b_2$; fig. 14*b*): de breking in de dikkere spiegels verplaatst de bundel dan zo ver zijdelings dat het licht niet op het scheidingsvlak tussen de achterste spiegels terecht komt. Deze methode is echter alleen toepasbaar voor voorwerpen die schijnbaar oneindig ver weg zijn, omdat anders verdubbeling van ieder beeldpunt zou optreden.

[3]) Een artikel hierover zal binnenkort verschijnen in Philips Research Reports.

**Samenvatting.** Het bekende verschijnsel van de interferentie van licht aan dunne lagen wordt de laatste jaren in de techniek veelvuldig toegepast. Afhankelijk ervan of de brekingsindex van de laag groter dan wel kleiner is dan die van de drager, werkt de laag reflectievermeerderend of reflectieverminderend. De sterkte van het effect is afhankelijk van de verhouding van de dikte der laag tot de golflengte van het gebruikte licht. Door een aantal lagen geschikt te combineren, kan men het effect versterken en zodoende nagenoeg verliesvrije spiegels vervaardigen die een gedeelte van het zichtbare spectrum doorlaten en een ander gedeelte reflecteren (kleursplitsende spiegels). Besproken worden de vervaardiging van de genoemde laagjes door opdampen in vacuüm, en het gebruik van kleursplitsende spiegels bij kleurentelevisie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# KATODESTRAALBUIZEN MET LANGWERPIG VENSTER

621.385.832

Bij speciale radarsystemen (zogenaamde „A"-aftasting, waarbij de antenne vast is opgesteld) en ook in andere gevallen heeft men te maken met oscillogrammen van zeer langgerekte vorm. Gebruikt men hiervoor een katodestraalbuis met rond scherm, dan wordt er veel ruimte verspild. Bovendien staan de oscillogrammen dan hinderlijk ver van elkaar indien een zelfde waarnemer op verschillende oscillogrammen tegelijk moet letten. Voor deze gevallen is derhalve een speciale katodestraalbuis ontwikkeld, die een zeer langwerpig, rechthoekig venster bezit (buitenafmetingen van de buis $156 \times 66$ mm; nuttige schermoppervlakte $125 \times 35$ mm, dus breedte tot hoogte $= 3{,}5 : 1$). Door op elkaar stapelen van deze buizen kan men een zeer compacte opstelling verkrijgen en zodoende beide genoemde nadelen vermijden. Voor de fabricage van deze buizen moesten een aantal problemen worden opgelost die bij normale katodestraalbuizen niet optreden; enkele van deze problemen willen wij hier kort bespreken.

Daar het niet goed mogelijk is een voldoend sterke glazen ballon van de vereiste vorm op de gebruikelijke wijze door blazen te vervaardigen, wordt de ballon samengesteld uit een geperst glazen venstergedeelte en een dito conusgedeelte. De diepte van beide delen werd zo gekozen dat zij ondanks hun langwerpige nauwe vorm nog goed geperst kunnen worden. De zijkanten van beide delen zijn licht gekromd om de sterkte te verbeteren, en zij zijn enigszins taps gemaakt om ze gemakkelijk uit de persvorm te kunnen verwijderen. Door deze eisen

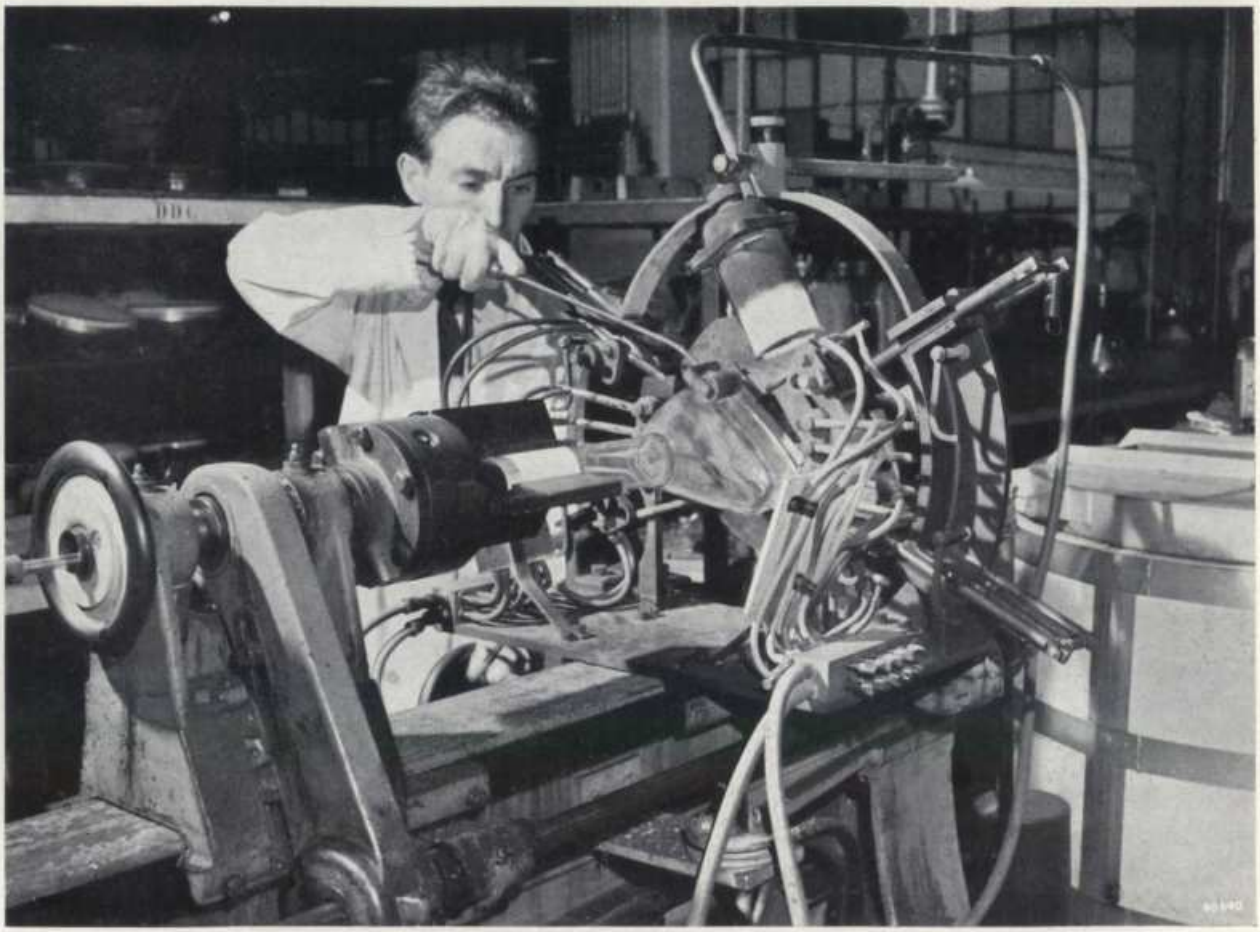


Fig. 1. Glasdraaibank voor het aaneensmelten van de geperste delen (scherm en conus) van de ballon van een rechthoekige katodestraalbuis. De draaibank bevat acht vaststaande en vier oscillerende branders. De laatste worden in beweging gebracht door de grote nokkenschijf die achter de ballon zichtbaar is. De foto laat het „rollen" van de naad tussen scherm en conus zien.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



werd een onderste grens gesteld aan de uitwendige afmetingen die de ballon voor een gegeven nuttige schermoppervlakte moest krijgen.

Het aaneensmelten van venster en conus en van conus en hals (een op normale wijze vervaardigd stuk buis van 50 mm wijdte) geschiedt op een glasdraaibank van speciale constructie. Deze draaibank is in *fig. 1* afgebeeld. Hij bevat behalve de gebruikelijke vaststaande ook nog vier heen-en-weergaande gas-zuurstofbranders. Had men alleen de vaststaande branders, dan zouden de hoeken van de glazen delen, die een grotere tangentiële snelheid hebben dan de zijkanten, minder worden verhit. De oscillerende branders, die door een grote nokkenschijf op de spil van de draaibank in beweging worden gebracht (zie fig. 1), dragen alleen tot de verhitting van de hoeken bij, zodat een gelijkmatige temperatuur langs de omtrek van het glas wordt verkregen.

De fosforlaag voor het fluorescentiescherm wordt volgens bekende methodes door bezinken aangebracht [1]). Het inwendig bedekken van de buis met grafiet geschiedt met behulp van een speciale borstel, die door manipulatie aan het handvat langs de vlakke binnenwanden van de ballon kan worden gehaald.

Katodestraalbuizen voor de hier bedoelde soort oscillogrammen worden gewoonlijk geconstrueerd voor elektrostatische afbuiging. Het elektronenkanon, met de hierop gemonteerde afbuigplaten, moet onder de juiste hoek in de hals van de buis worden gesmolten, nl. zodanig dat de tijdas ($x$-richting) nauwkeurig evenwijdig loopt aan de lange as van het rechthoekige scherm. Het kanon wordt in de juiste stand gebracht met behulp van een mal, waarbij men gebruik maakt van het feit dat de afbuigplaten voor de $x$-richting de elektronenbundel afbuigen in een richting loodrecht op de sleuf in het midden van de schermplaat (d.i. een schot tussen de beide stellen afbuigplaten, dat deze elektrostatisch van elkaar afschermt ten einde „overspreken" tussen $x$- en $y$-afbuiging te voorkomen [2])). De mal is in *fig. 2* afgebeeld en de eenvoudige justeringsmethode is in het onderschrift van de figuur beschreven. Volgens deze methode krijgt men tussen de $x$-richting en de lange as van het scherm maximaal een hoekafwijking van $\pm 2°$.

De glazen voet die het elektronenkanon draagt, moet voor het insmelten in de hals van de katodestraalbuis verhit worden op ongeveer 200 °C. Gewoonlijk doet men dit vóór men het gehele stel in de hals van de buis brengt, maar aangezien het justeren niet met een hete voet kan worden uitgevoerd, moet de genoemde voorverhitting in ons geval geschieden terwijl elektronenkanon en voet

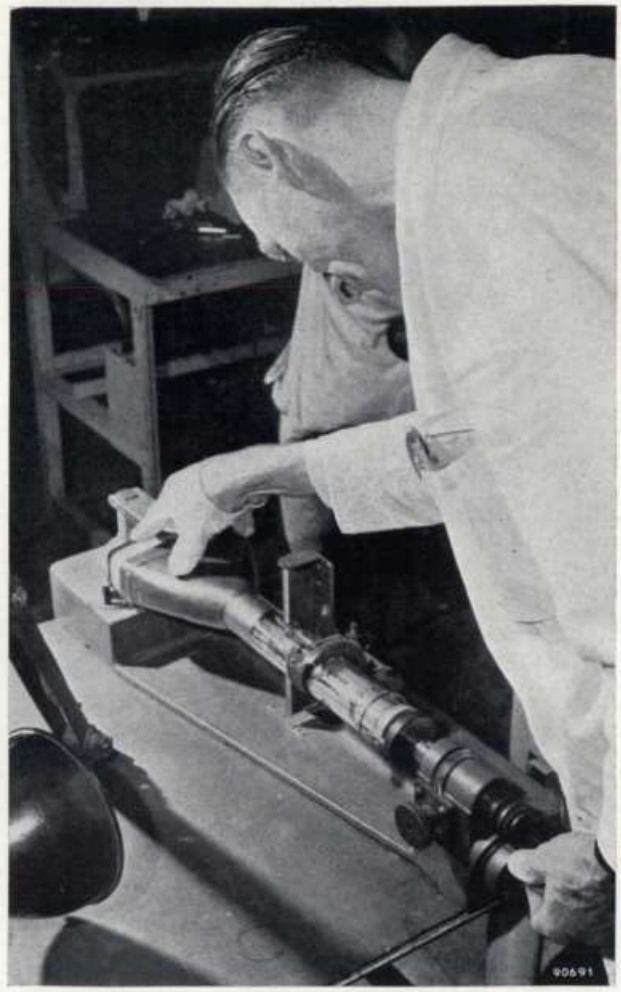


Fig. 2. Mal waarmee het elektronenkanon zodanig in de hals van de katodestraalbuis wordt geplaatst, dat de richting van de tijdas ($x$-richting) evenwijdig komt te staan met de lange as van het rechthoekige scherm. De ballon wordt met het uiteinde waar zich het scherm bevindt, in een zwaar gietstuk geplaatst, terwijl de hals op een half-cirkelvormige ondersteuning komt te liggen: de ligging van het vlak door de as van de buis en de lange as van het venster is op deze wijze ondubbelzinnig vastgelegd (referentievlak). Waar de tussen de twee stellen afbuigplaten van het elektronenkanon aangebrachte afschermplaat moet komen te staan, bevindt zich een beugel, waarop een witte instellingslijn is getekend (met een onderbreking die ruimte laat voor de hals van de buis). Deze lijn is even breed als de sleuf in de afschermplaat en staat loodrecht op het bovenvermelde referentievlak. Het gehele systeem van het elektronenkanon, dat nauw passend in de hals zit om te voorkomen dat het bij de latere bewerkingen door trillingen ontjusteerd wordt, schuift men door een mechaniek, dat rechts onderaan op de foto zichtbaar is, zo diep in de hals dat de afschermplaat zich op de plaats van de instellingslijn bevindt. Nu draait men het elektronenkanon totdat men de sleuf in de plaat in een rechte lijn met de instellingslijn ziet vallen. De richting van de $x$-afbuiging is dan evenwijdig aan het eerder vermelde referentievlak en derhalve evenwijdig aan de lange as van het scherm.

[1]) Zie de afbeeldingen in Philips techn. T. **10**, 67, 1948 en **11**, 186, 1949.

[2]) J. de Gier en A. P. van Rooy, Verbeteringen in de constructie van katodestraalbuizen, Philips techn. T. **9**, 181-185, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



reeds op hun plaats zijn. Hiertoe wordt een hete stalen cilinder om het uiteinde van de hals van de buis geschoven. Langs dit uiteinde wordt stikstof in de buis geblazen om oxydatie van de onderdelen van het elektronenkanon te voorkomen. De stikstof wordt voorverwarmd om springen van de hete voet te vermijden.

De verdere bewerkingen tijdens de fabricage, zoals pompen, ouderen, enz. worden op de gebruikelijke wijze uitgevoerd.

De belangrijkste gegevens van de buis zijn als volgt: spanning van de eindanode 5 kV, nominale stroom naar het scherm 10 μA bij een stuurspanning van 17,5 V, totale lichtsterkte 0,15 candela (dank zij het gebruik van een willemiet fluorescentiescherm van hoog rendement); nominale afbuigingsgevoeligheid in de $x$-richting 0,19 mm/V, in de $y$-richting 0,21 mm/V. Stelt men de lichtstip in op optimale gemiddelde scherpte bij het beschrijven van een ellips van $100 \times 30$ mm (waarbij dus vrijwel de gehele schermoppervlakte wordt afgetast), dan krijgt men bij de nominale bundelstroom een lijnbreedte van 0,5 mm. Deze grote scherpte, die voor de radartoepassingen van deze buis wordt geëist, werd verkregen door een speciaal ontwerp van het elektronenkanon: de grootte van de niet afgebogen lichtstip werd zoveel mogelijk gereduceerd door een hoge belasting van de katode, een hoge spanning van de eerste anode (1800 V) en een lange focusseeranode (vergelijk het in [2]) aangehaalde artikel); het deflectie-astigmatisme werd zoveel mogelijk beperkt door afbuigplaten te gebruiken van betrekkelijk grote lengte en met een vrij grote onderlinge afstand. Het vinden van een geschikt compromis tussen lengte en afstand der platen werd vergemakkelijkt door de geringe vereiste afbuiging in de $y$-richting. Het betrekkelijk grote systeem van de afbuigplaten moest zorgvuldig worden geconstrueerd om de diameter van de hals van de buis binnen de bovengenoemde waarde van 50 mm te kunnen houden.

F. G. BLACKLER *).

*) Mullard Radio Valve Co., Ltd., Mitcham, Engeland.

---

# OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

**2379:** J. Bloem en F. A. Kröger: The $p$-$T$-$x$-phase diagram of the lead-sulphur system (Z. phys. Chem. (Frankfurt a.M.), **7**, 1-14, 1956, no. 1-2).

Het fazediagram van het systeem lood-zwavel, met de druk $p$, de temperatuur $T$ en de samenstelling $x$ als variabelen, werd bepaald, waarbij speciale aandacht werd besteed aan de samenstelling in de vaste toestand. Het smeltpunt van een eenkristal van loodsulfide werd gemeten als functie van de partiële zwaveldruk in de gasfaze; de samenstelling van het vaste loodsulfide werd bepaald door het type te bepalen van de ladingsdragers (elektronen of gaten) die verantwoordelijk zijn voor het geleidingsvermogen, en hun concentratie te meten. De samenstelling van het gesmolten materiaal werd langs chemisch-analytische weg vastgesteld. Op deze wijze werden de samenstellingen gevonden van de drie coëxisterende fazen: de gasvormige, de vloeibare en de vaste. Het hoogste smeltpunt bleek 1126 °C te zijn; dit treedt op bij loodsulfide dat een overmaat lood bevat van $6 \times 10^{18}$ atomen per cm$^3$ ($= 3 \times 10^{-4}$ gramatoom Pb per mol PbS). Uit de bijzondere vorm van de krommen die coëxisterende vaste en vloeibare fazen markeren, blijkt dat in de vloeistof een korteafstandsordening bestaat bij de samenstelling 50% Pb - 50% S.

**2380:** J. Bloem en F. A. Kröger: The influence of heating in an inert gas atmosphere on the properties of a compound semiconductor, with special reference to PbS (Z. phys. Chem. (Frankfurt a.M.), **7**, 15-26, 1956, no. 1-2).

Bij een vaste chemische verbinding die tot een constante temperatuur wordt verhit in een langzame stroom van een inert gas, waardoor de gevormde damp voortdurend wordt afgevoerd, zal de verhouding waarin de samenstellende elementen verdampen, in het algemeen verschillen van de verhouding waarin deze elementen aanvankelijk in de vaste stof voorkwamen. Hierdoor verandert de samenstelling van de vaste stof en daarmee die van de afgevoerde damp zodanig dat deze samenstellingen tot elkaar naderen. Een evenwicht, waarbij de samenstellingen van vaste stof en damp gelijk zijn, wordt bereikt indien de vaste stof bij dit evenwicht nog

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



stabiel is. De som van de partiële drukken der samenstellende elementen in de gasfaze vertoont bij dit evenwicht een minimum. Voor loodsulfide kan de evenwichtssamenstelling worden berekend. Deze berekening is experimenteel getoetst voor zuiver loodsulfide, voor loodsulfide verontreinigd met zilver en voor loodsulfide verontreinigd met bismut. Hierbij werd een goede overeenstemming van experiment en theorie geconstateerd. Zo vertoont loodsulfide verontreinigd met zilver een geleidingsvermogen door elektronen als het in een argonstroom op hoge temperatuur wordt verhit, maar een geleidingsvermogen door gaten als de temperatuur lager wordt gekozen, zoals door de theorie werd voorspeld.

**2381:** J. Haantjes en K. Teer: Compatible colour-television (Wireless Engr. **33**, 3-9 en 39-46, 1956, nos. 1 en 2).

Het eerste gedeelte van het artikel bevat een bespreking van de eisen die men moet stellen aan een systeem van kleurentelevisie waarbij ook een zwart-witontvanger een goed beeld levert („compatible system") en van de mogelijkheden om zo'n systeem te realiseren. Daarna volgt een beschrijving van een systeem, dat door de auteurs is ontwikkeld, waarbij men de meerdere informatie die voor het verkrijgen van een kleurenbeeld nodig is, overbrengt door gebruik te maken van een tweetal hulpdraaggolven. De hulpdraaggolven worden gemoduleerd binnen frequentiebanden van beperkte breedte en de draaggolffrequenties zijn zo gekozen dat alles zich afspeelt binnen de door het hoofdsignaal bestreken frequentieband. Dit hoofdsignaal is een normaal zwart-witsignaal. In het tweede gedeelte worden de merites van dit systeem vergeleken met het Amerikaanse N.T.S.C.-systeem, o.a. wat betreft de invloed van onvolkomenheden in de transmissiekarakteristieken, de signaal-ruisverhouding, het overspreken, de last veroorzaakt door de beide hulpdraaggolven en de complicaties aan de ontvangzijde.

**2382:** K. Rodenhuis: Life and reliability of radio tubes for professional equipment (T. Ned. Radiogenootschap **21**, 65-93, 1956, no. 2).

De inhoud van dit artikel is vrijwel gelijk aan die van het artikel in Philips techn. T. **18**, 145-157, 1956 (no. 4-5).

**2383:** G. Diemer en P. Zalm: Voltage distribution inside electro-luminescent ZnS crystals (Physica **22**, 561-562, 1956, no. 6).

Korte mededeling over een theoretische analyse van de potentiaalverdeling in elektroluminescerende ZnS-kristallen, gebaseerd op de hypothese dat plaatselijke inwendige barrières aanwezig zijn, waarin zich zeer sterke velden ontwikkelen. Voor deze hypothese, zie o.a. Philips techn. T. **18**, 357-367, 1956 (no. 12).

**2384:** A. van Weel: Some remarks on the radio-frequency phase and amplitude characteristics of television receivers (J. Brit. Instn. Rad. Engrs. **16**, 271-280, 1956, no. 5).

Onderzoek naar de invloed die amplitude- en looptijdkarakteristieken van het hoog- en middenfrequentiegedeelte van een televisieontvanger hebben op de beeldkwaliteit. Speciaal de gedeelten dezer karakteristieken in de omgeving van de draaggolffrequentie (bij de amplitudekarakteristiek is dit de zg. Nyquist-flank) zijn hierbij van belang. Uit numerieke berekeningen volgt dat de invloed van de vorm van de Nyquist-flank slechts gering is. Een ontvanger zal zich ten opzichte van een zender met dubbele zijband en van een zender met asymmetrische zijbanden nagenoeg eender gedragen mits de laatstgenoemde zenderapparatuur bevat ter correctie van de fazefouten die door het enkelzijbandfilter worden geïntroduceerd. Zie ook Philips techn. T. **18**, 37-55, 1956 (no. 2).

**2385:** C. J. Heuvelman en A. van Weel: Group-delay measurements (Wireless Engr. **33**, 107-113, 1956, no. 5).

Beschrijving van een eenvoudige groeplooptijdmeter, waarmee men, door combinatie met een wobbulatormeetzender, de gezochte groeplooptijdkarakteristieken rechtstreeks zichtbaar kan maken op een katodestraalbuis. Een automatisch sterkteregelingscircuit, dat nodig is om het niveau van het signaal aan de uitgangszijde van het onderzochte netwerk constant te houden, schept de mogelijkheid om bovendien de amplitudekarakteristiek zichtbaar te maken op een tweede katodestraalbuis. Een methode ter bepaling van schaalwaarden voor de karakteristieken wordt besproken. De gevoeligheid kan $10^{-9}$ sec bedragen; gemeten kan worden van 20 MHz tot 45 MHz.

**2386:** J. S. C. Wessels: De Hill-reactie (Landbouwk. T. **68**, 647-655, 1956, no. 7).

Verslag van een voordracht gehouden op 24 september 1953 te Wageningen in het kader van een cursus over fotosynthese. De Hill-reactie werd besproken in verband met het mechanisme der fotosynthese. Tevens werd een overzicht gegeven van de stand van zaken op dit gebied aan de hand van de literatuur en van eigen experimenten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**2387*:** F. A. Kröger: Inorganic crystal phosphors (Ergebn. exakt. Naturwiss. **29**, 61-144, 1956).

Uitvoerig overzicht van de huidige kennis van anorganische fosforen. De literatuurlijst geeft meer dan 700 referenties.

**2388:** K. ter Haar en J. Bazen: The titration of nickel with EDTA at $p_H$ 2.8 (Anal. chim. Acta **14**, 409-413, 1956, no. 5).

Beschrijving van een methode voor nikkelbepalingen met behulp van EDTA (ethyleendiaminetetraazijnzuur). EDTA wordt toegevoegd in geringe overmaat en de $p_H$ met een bufferoplossing ingesteld tussen 2,7 en 2,9. Daarna wordt de oplossing teruggetitreerd met thoriumnitraat. Als indicator wordt hierbij alizarine-S gebruikt. De aanwezigheid van kobalt, mits in hoeveelheden kleiner dan 10 mg, is niet storend. In het artikel wordt bovendien beschreven hoe men de complexvormingsconstante van Th-EDTA bij benadering kan bepalen. Deze bepaling berust op het afnemen van de extinctie van een Ni-EDTA-oplossing als men hieraan $Th^{4+}$-ionen toevoegt.

**2389:** J. A. Haringx: Non-linearity of corrugated diaphragms (Appl. sci. Res. **A6**, 45-52, 1956, no. 1).

Uitgaande van een eerder door de auteur gepubliceerde methode om de stijfheid te bepalen van gegolfde membranen (zie deze overzichten no. **1960**), kan men nagaan bij welke uitwijkingen de stijfheid sterk gaat toenemen, d.w.z. waarbij het verband tussen belasting en uitwijking in belangrijke mate van het lineaire gaat afwijken. Aan de hand van een voorbeeld wordt aangetoond dat, hoewel het aanbrengen van golven als onvermijdelijk gevolg heeft dat de stijfheid aanzienlijk toeneemt, de uitwijking waarbij een zelfde mate van niet-lineariteit optreedt, veel groter is dan bij een vlak membraan.

**2390:** J. Bloem: *p-n* junctions in photosensitive PbS layers (Appl. sci. Res. **B6**, 92-100, 1956, no. 1-2).

Uit een waterige oplossing van loodacetaat, thioureum en hydrazine kan men een laagje PbS (ca. 1 μ dik) laten neerslaan op een glazen strip. Een dergelijk laagje is van type *n* (geleidingsvermogen door elektronen), maar verandert gedurende blootstelling aan de inwerking van de atmosfeer tot type *p* (geleiding door gaten). Van dit verschijnsel is gebruik gemaakt om scherpe *p-n*-overgangen te verkrijgen. Hiertoe werd de glazen strip over een gedeelte van zijn oppervlak bedekt men een laagje van een metaal dat driewaardige ionen kan leveren. Vervolgens werd op de aldus geprepareerde strip een PbS-laagje neergeslagen, dat daarna aan de atmosfeer werd blootgesteld. Het gedeelte van het PbS-laagje, dat zich direct op het glas bevond, veranderde van type *n* tot type *p*, maar het gedeelte dat zich bevond op het metaal, bleef van type *n* doordat driewaardige metaalionen in het PbS-rooster waren opgenomen. De aldus verkregen *p-n*-overgangen vertoonden een duidelijke foto-e.m.k., die soms zelfs 300 mV bedroeg, dat is de theoretisch maximale waarde. Enige eigenschappen van deze fotocellen worden besproken; hierbij wordt in het bijzonder ingegaan op de invloed van zuurstof op de levensduur van de minderheidsladingsdragers. Bewezen wordt dat bij goed geprepareerde cellen de recombinatie aan het oppervlak buitengewoon langzaam is.

**R 300:** P. Zalm: The electroluminescence of ZnS type phosphors (Philips Res. Rep. **11**, 417-451, 1956, no. 6).

Vervolg van **R 298.**

**R 301:** J. Volger en J. M. Stevels: Further experimental investigation of the dielectric losses of various glasses at low temperatures (Philips Res. Rep. **11**, 452-470, 1956, no. 6).

Kwalitatieve beschouwingen over de bij lage temperaturen gemeten diëlektrische verliezen van enige glassoorten. Het verband met de structuur van het glas en de grote invloed van verontreinigingen worden besproken. Ook de rol gespeeld door de warmtebehandeling komt aan de orde. Hoewel bestraling met röntgenstralen de glazen doet verkleuren, bleek deze geen invloed te hebben op de verliezen, in tegenstelling met wat vroeger was geconstateerd bij kwartskristallen. Er wordt een vergelijkend overzicht gegeven van de tot nu toe gevonden mechanismen die ten grondslag liggen aan de diëlektrische verliezen in de glasachtige en in de kristallijne toestand.

**R 302:** W. Ch. van Geel en C. A. Pistorius: On the residual voltage with electrostatic capacitors (Philips Res. Rep. **11**, 471-478, 1956, no. 6).

Nadat een elektrolytische condensator, bestaande uit b.v. $Al/Al_2O_3$/elektrolyt, tot zekere spanning is geladen en vervolgens door een kortstondige kortsluiting weer is ontladen, blijkt dat zich over de condensator opnieuw een spanning ontwikkelt die evenredig is met het produkt van de oorspronkelijke veldsterkte in de laag en de dikte van de laag. Ter verklaring wordt aangenomen, dat $Al^{3+}$-ionen in de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



oxydelaag zich hebben verplaatst, wat, gezien het grote aantal open plaatsen in het $\gamma'$-$Al_2O_3$-rooster, zeer goed mogelijk is. Uit een eenvoudige berekening blijkt dat men goede overeenstemming met de experimentele resultaten verkrijgt als men aanneemt dat 0,1% van het totaal aanwezige aantal $Al^{3+}$-ionen zich heeft verplaatst over een gemiddelde afstand van 2 Å.

**R 303:** C. Z. van Doorn en Y. Haven: Absorption and luminescence of colour centres in KCl and NaCl (Philips Res. Rep. **11**, 479-488, 1956, no. 6).

Kalium- en natriumchloridekristallen die gekleurd zijn doordat zij gedurende verhitting in kalium- resp. natriumdamp een overmaat aan metaalatomen hebben opgenomen (additieve kleuring), en die vervolgens zijn afgeschrikt in vloeibare stikstof, blijken de zg. *F*-absorptieband te bezitten. Gedurende bestraling met licht in deze band fluoresceert het kristal in het infrarood. Wordt het kristal gedurende korte tijd op kamertemperatuur gehouden, dan ontwikkelt zich een nieuwe absorptieband (*M*-band). Bestraling met licht in deze band roept fluorescentie op in een nieuw golflengtegebied. Dezelfde fluorescentie treedt nu op bij bestraling met licht in de *F*-band. Er wordt een verklaring voor deze verschijnselen voorgesteld. Houdt men het kristal lange tijd op kamertemperatuur, dan ontwikkelen zich nog *R*-absorptiebanden. Bestraling met licht in deze *R*-banden veroorzaakt, evenals bestraling met licht in de *F*-band, fluorescentie in nog een derde golflengtegebied.

**R 304:** A. I. Luteijn en K. J. de Vos: Permanent magnets with $(BH)_{max}$ values over ten million gauss oersteds (Philips Res. Rep. **11**, 489-490, 1956, no. 6).

Korte mededeling over de vervaardiging van sterkere staafmagneten dan ooit te voren zijn gemaakt. Dit resultaat werd bereikt door uit te gaan van een speciale legering van grote zuiverheid, waarvan staven, bestaande uit grote gerichte kristallen, werden gemaakt op de bij germanium gebruikelijke wijze. De magneten hebben een $(BH)_{max}$ van 11 miljoen gauss-oersted bij een remanentie van 11 800 gauss en een coërcitieve veldsterkte van 1315 oersted. Zie ook Philips techn. T. **19**, 23-25, 1957, no. 1.

**R 305:** J. D. Fast: The influence of impurities on the recrystallization texture of cold-rolled 3% silicon iron (Philips Res. Rep. **11**, 490-491, 1956, no. 6).

Bij de vervaardiging van zg. gericht siliciumijzerplaat, waarbij, door een combinatie van wals- en warmtebehandelingen een voorkeursrichting voor de magnetisatie in de walsrichting wordt verkregen, zijn de resultaten dikwijls slecht reproduceerbaar. Het beschreven onderzoek brengt aan het licht dat het gewenste effect wordt teweeggebracht door verontreinigingen: gaat men uit van zeer zuivere grondstoffen, dan treedt geen richtingseffect op. De invloed van stikstof als verontreiniging werd nader onderzocht. Door geringe hoeveelheden van dit element aan siliciumijzer toe te voegen vóór het koudwalsen, wordt een zeer goede en reproduceerbare textuur verkregen. Om optimale magnetische eigenschappen te bereiken, moet de stikstof tijdens de eindgloeiing van het materiaal weer worden uitgedreven.

---

**Verschenen zijn:**

U.H.F. tubes for communication and measuring equipment, by members of Philips Electron Tube Division (Boek XI van de reeks over elektronenbuizen, Philips' Technische Bibliotheek, 1956, IX + 60 blz., 76 figuren).

Bovengenoemd boek over elektronenbuizen voor frequenties boven 300 MHz bevat karakteristieken en andere gegevens van de volgende buizen: de triodes DC 70, EC 80, EC 81, EC 55, EC 56 en EC 57, de reflectieklystrons 2 K 25 en 723 A/B en de standaardruisbronnen K 81 A, K 50 A en K 51 A.

---

Tubes for computers, by members of Philips Electron Tube Division (Boek XII van de reeks over elektronenbuizen, Philips' Technische Bibliotheek, 1956, IX + 51 blz., 59 figuren).

Na een inleiding over telschakelingen worden in dit boek behandeld: de vacuümbuizen E 90 CC, E 92 CC, E 88 CC, E 91 H en E 1 T voor snelle telschakelingen, en de buizen Z 50 T en Z 70 U (met gasvulling) voor langzame tellers.

---

Tube selection guide 1956-1957, compiled by Th. J. Kroes (Philips' Technische Bibliotheek, 1956, ca. 130 blz.)

Ter vergemakkelijking van de juiste keus van een buis voor een gesteld doel, geeft dit boekje in tabelvorm een overzicht van de moderne elektronenbuizen. Toegevoegd is een lijst waarin men de gebruikte Engelse termen vertaald vindt in het Frans, het Duits en het Spaans.

---

Bovengenoemde boeken worden in het Koninkrijk der Nederlanden gedistribueerd door Meulenhoff & Co., Amsterdam.

---

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!